

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvorna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Pukšič, D., 2013. Analiza in dimenzioniranje plošče na stebrih. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Brank, B., somentor Bratina, S.): 36 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Pukšič, D., 2013. Analiza in dimenzioniranje plošče na stebrih. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Brank, B., co-supervisor Bratina, S.): 36 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVA

MODUL KONSTRUKCIJE

Kandidat:

DAVID PUKŠIČ

**ANALIZA IN DIMENZIONIRANJE PLOŠČE NA
STEBRIH**

Diplomska naloga št.: 24/B-GR

ANALYSIS AND DESIGN OF FLAT SLAB

Graduation thesis No.: 24/B-GR

Mentor:

prof. dr. Boštjan Brank

Predsednik komisije:

prof. dr. Boštjan Brank

Somentor:

doc. dr. Sebastjan Bratina

Ljubljana, 11. 07. 2013

IZJAVE

Podpisani **David Pukšič** izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »**Analiza in dimenzioniranje plošče na stebrih**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 8. 7. 2013

David Pukšič

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.072.1(043.2)
Avtor:	David Pukšič
Mentor:	prof. dr. Boštjan Brank
Somentor:	doc. dr. Sebastjan Bratina
Naslov:	Analiza in dimenzioniranje plošče na stebrih
Tip dokumenta:	Dipl. nal.-UNI
Obseg in oprema:	36 str., 6 pregl., 33 sl., 22 en., 6 pril.
Ključne besede:	metoda končnih elementov, metoda nadomestnih okvirjev, plošča na stebrih, preboj, Safe

Izveček

V diplomski nalogi je predstavljena analiza medetažne armiranobetonske gladke plošče na stebrih po poenostavljeni metodi nadomestnih okvirjev in po metodi končnih elementov. Analiza plošče z metodo nadomestnih okvirjev je v skladu s standardom EN 1992-1-1. Na podlagi dobljenih obremenitev je izvedeno dimenzioniranje armature v plošči. Analiza plošče z metodo končnih elementov je izvedena v komercialnem programu *Safe*. Opisan je postopek modeliranja plošče na stebrih ter računsko analiza v programu *Safe*. Poudarek diplome je primerjava obremenitev in potrebne količine armature v plošči glede na oba postopka analize. Naloga dodatno obravnava tudi problem preboja pri gladkih ploščah na stebrih. Za prevzem napetosti v plošči zaradi preboja se namesti ustrezna količina strižne armature v skladu s standardom SIST EN 1992-1-1.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.072.1(043.2)

Author: David Pukšič

Supervisor: Prof. Boštjan Brank, Ph.D.

Cosupervisor: Assist. Prof. Sebastjan Bratina, Ph.D.

Title: Analysis and design of flat slab

Document type: Graduation Thesis – University studies

Scope and tools: 36 p., 6 tab., 33 fig., 22 eq., 6 ann.

Keywords: Finite element method, equivalent frame method, flat slab, punching shear, Safe

Abstract

In the diploma thesis, an example of flat reinforced concrete slab under gravitational loadings is analyzed and designed. For the analysis we use both the equivalent frame method and the finite element method. The equivalent frame method is applied according to the guidelines of the standard EN 1992-1-1. The finite element method is applied by using the commercial finite element computer code *Safe*. Based on the computed internal forces, the design of the bending reinforcement is carried out in accordance with the standard SIST EN 1992-1-1. Comparison is done with respect to both applied analysis methods on computed internal forces and on the amount of necessary bending reinforcement. Finally, the issue of punching shear in flat slabs is addressed. The necessary shear reinforcement is designed according to the standard SIST EN 1992-1-1.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorjema prof. dr. Boštjanu Branku ter doc. dr. Sebastjanu Bratini za pomoč, nasvete, usmerjanje in podporo pri nastajanju diplomske naloge.

Iskrena zahvala družini in dekletu, ki so me spodbujali v času študija.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Plošče na stebrih.....	1
2	PODATKI O OBRAVNAVANI ARMIRANOBETONSKI PLOŠČI NA STEBRIH	3
2.1	Geometrijski podatki.....	3
2.2	Materialni podatki.....	4
2.3	Podatki o obtežbi plošče	4
2.3.1	Stalna obtežba:.....	4
2.3.2	Koristna obtežba.....	4
2.4	Konstruktivske zahteve za ploščo	5
2.4.1	Določitev krovnega sloja betona	5
2.4.2	Minimalna količina vzdolžne armature v plošči.....	6
3	ANALIZA PLOŠČE NA STEBRIH NA POENOSTAVLJEN NAČIN Z METODO NADOMESTNIH OKVIRJEV	7
3.1	Določitev nadomestnih okvirjev.....	7
3.1.1	Osnovna pravila.....	7
3.2	Obtežba in obremenitev nadomestnih okvirjev.....	8
3.2.1	Nadomestni okvirji A, B in C v vzdolžni smeri plošče	9
3.2.2	Nadomestni okvirji 1, 2 in 3 v prečni smeri plošče.....	10
3.3	Porazdelitev upogibnih momentov po širini plošče	11
3.3.1	Razdelitev vzdolžnih in prečnih pasov plošče na trakove.....	13
3.3.2	Porazdelitev upogibnih momentov na trakove.....	14
3.3.3	Omejitev momentov na stiku plošče z robnimi in vogalnimi stebri	14
3.4	Dimenzioniranje vzdolžne armature v plošči	15
4	ANALIZA PLOŠČE NA STEBRIH S POMOČJO RAČUNALNIŠKEGA PROGRAMA SAFE.....	18
4.1	Predstavitve programa Safe	18
4.2	Analiza plošče na stebrih z metodo končnih elementov	18

4.2.1	Računski model plošče na stebrih.....	18
4.2.2	Račun obremenitev plošče in potrebne količine armature	21
4.3	Analiza plošče z metodo nadomestnih okvirjev.....	22
4.3.1	Določitev nadomestnih okvirjev.....	22
4.3.2	Izračun notranjih sil in potrebne armature	23
5	PRIMERJAVA REZULTATOV IZRAČUNOV.....	24
5.1	Primerjava upogibnih momentov v plošči.....	24
5.2	Primerjava potrebne vzdolžne armature v plošči.....	26
6	KONTROLA VARNOSTI PLOŠČE NA STEBRIH PROTI PREBOJU	27
6.1	Opis problema preboja plošče	27
6.2	Priporočila po standardu SIST EN 1992-1-1	27
6.2.1	Dokaz strižne nosilnosti pri preboju.....	27
6.2.2	Odpornost plošče brez strižne armature	28
6.2.3	Prebojna strižna odpornost plošče s strižno armaturo.....	28
6.3	Kontrola preboja za izbrano ravno ploščo na stebrih.....	30
7	ZAKLJUČEK.....	33
8	SUMMARY	34
	VIRI	35

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Projektne vrednosti upogibnih momentov za nadomestne okvirje A, B in C v vzdolžni smeri plošče.....	10
Preglednica 2: Projektne vrednosti upogibnih momentov za nadomestne okvirje 1, 2 in 3 v prečni smeri plošče.....	11
Preglednica 3: Porazdelitev negativnih in pozitivnih upogibnih momentov iz nadomestnih okvirjev na trakove nad stebri in vmesne trakove.....	12
Preglednica 4: Izbrana porazdelitev upogibnih momentov iz nadomestnih okvirjev A, B, C, 1, 2 in 3 na trakove.....	12
Preglednica 5: Primerjava momentov v plošči ob robnih oziroma vogalnih stebrih z odpornostnim momentom M_R	15
Preglednica 6: Potrebna količina strižne armature za zagotovitev varnosti plošče proti preboju.....	32

KAZALO SLIK

Slika 1: Vrste plošč na stebrih glede na velikost naležne ploskve plošče na steber.....	1
Slika 2: Razporeditev glavnih momentov v plošči.....	2
Slika 3: Razporeditev razpok pri preboju.....	2
Slika 4: 3D pogled obravnavane plošča na stebrih od zgoraj	3
Slika 5: 3D pogled obravnavane plošča na stebrih od spredaj	3
Slika 6: Okvirji A, B in C	7
Slika 7: Okvirji 1, 2 in 3.....	8
Slika 8: Razporeditev projektne obtežbe za določitev upogibnih momentov $M_{Ed,2,levo,min}$ in $M_{Ed,2,desno,min}$	9
Slika 9: Razporeditev projektne obtežbe za določitev upogibnih momentov $M_{Ed,1,min}$ in $M_{Ed,1-2,max}$	9
Slika 10: Razporeditev projektne obtežbe za določitev upogibnih momentov $M_{Ed,2-3,max}$ in $M_{Ed,3,min}$	10
Slika 11: Razporeditev projektne obtežbe za določitev upogibnih momentov $M_{Ed,B,levo,min}$ in $M_{Ed,B,desno,min}$	10
Slika 12: Razporeditev projektne obtežbe za določitev upogibnih momentov $M_{Ed,A,min}$ in $M_{Ed,A-B,max}$	11
Slika 13: Razporeditev projektne obtežbe za določitev upogibnih momentov $M_{Ed,B-C,max}$ in $M_{Ed,C,min}$	11
Slika 14: Razdelitev plošče na trakove.....	12
Slika 15: Razdelitev okvirjev A, B in C na trakove nad stebri in vmesne trakove.....	13
Slika 16: Razdelitev okvirjev 1, 2 in 3 na trakove nad stebri in vmesne trakove.....	13
Slika 17: Shematski prikaz porazdelitve upogibnih momentov na trakove v: a) vzdolžni in b) prečni smeri plošče	14
Slika 18: Obravnavana širina b_e za: a) robni in b) vogalni steber.....	15
Slika 19: Uvodno okno za nastavitev modela.....	18
Slika 20: Okno <i>flat slab</i>	19
Slika 21: Prikaz oken za definiranje materialov	19
Slika 22: Prikaz oken za definiranje obtežnih kombinacij.....	20
Slika 23: Prikaz izrisa trakov	20
Slika 24: Prikaz: a) izpolnjenega okna za prikaz notranjih sil, b) momentov v prečni smeri ..	21
Slika 25: Prikaz izpolnjenega okna za prikaz armatur.....	21
Slika 26: Prikaz armature po trakovih v prečni smeri plošče.....	21
Slika 27: Prikaz okna za modeliranje in analizo z metodo nadomestnih okvirjev	22
Slika 28: Prikaz izpolnjenega okna za prikaz notranjih sil ter prikaz poteka momenta po okvirju	23
Slika 29: Razporeditev upogibnih momentov na traku nad stebri v osi B.....	24
Slika 30: Razporeditev upogibnih momentov po vmesnem traku med osema B in C	25

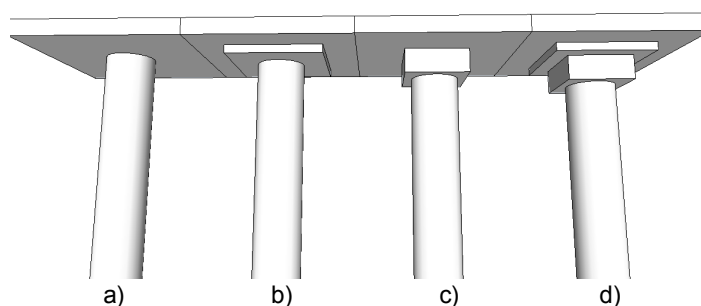
Slika 31: Prikaz osnovnega kontrolnega obsega u_1 okrog stebra.....	27
Slika 32: Obseg a) u_{out} ter b) $u_{out,ef}$	29
Slika 33: Prikaz razporeditve strižne armature proti preboju.....	29

1 UVOD

Namen diplomske naloge je primerjava rezultatov analize armiranobetonske plošče na stebrih na poenostavljen način z metodo nadomestnih okvirjev ter z metodo končnih elementov. V diplomski nalogi analiziramo in dimenzioniramo armiranobetonsko ploščo na stebrih. Najprej analiziramo ploščo na poenostavljen način z metodo nadomestnih okvirjev. Določimo obremenitve v plošči ter dimenzioniramo spodnjo in zgornjo vzdolžno armaturo po standardu SIST EN 1992-1-1. V nadaljevanju ploščo analiziramo z metodo končnih elementov. Računski model plošče na stebrih izdelamo v komercialnem programu *Safe* (Computers & Structures, Inc. 2012). Program omogoča tudi dimenzioniranje armature plošče. Dodatno izvedemo v programu *Safe* (Computers & Structures, Inc. 2012) analizo plošče z metodo nadomestnih okvirjev. Kontrole mejnih stanj uporabnosti niso tema te diplomske naloge, zato jih ne izvedemo. Rezultate izračunanih obremenitev v plošči po različnih metodah in potrebne količine armature primerjamo med seboj ter zapišemo ugotovitve. Na koncu diplomske naloge preverimo še varnost plošče na stebrih proti preboju.

1.1 Plošče na stebrih

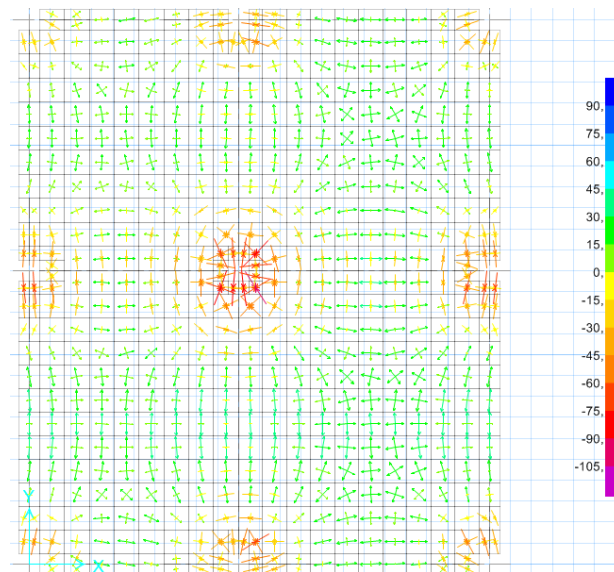
Plošče na stebrih so definirane kot »*armiranobetonske plošče, ki so armirane v dveh ali več smereh ter podprte s stebri brez uporabe nosilcev*« (Covan, 2004). Poznamo plošče na stebrih, ki imajo površino naležne ploskve na steber kar enako površini prereza stebra. Nekatero ploščo imajo naležno ploskev večjo od površine prereza stebra. Takšne plošče so podprte s kapiteli (slika 1).



Slika 1: Vrste plošč na stebrih glede na velikost naležne ploskve plošče na steber: a) plošča na stebrih konstantne debeline, b), c),-d) plošča na stebrih s kapiteli (odebelitve nad stebri)

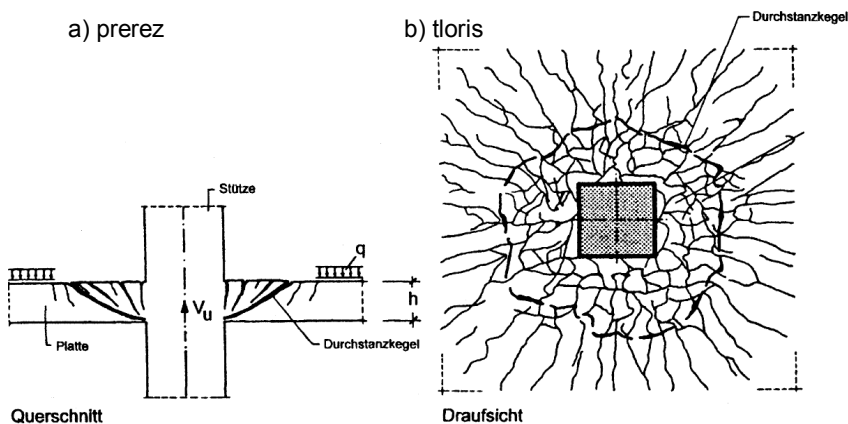
Prednost plošč na stebrih glede na linijsko podprte plošče je večja uporabna površina prostora in bolj svobodna ureditev prostora. Lastnik stanovanja ali arhitekt lahko poljubno izbira velikosti prostorov in jih v času življenjske dobe konstrukcije spreminja s poljubno postavitvijo predelnih sten. Nadaljnja prednost plošč na stebrih je večja svetla višina prostora ter lažja montaža instalacij, saj ni potrebno prebijati horizontalnih nosilnih elementov. Gradnja plošč na stebrih je cenejša, saj lahko uporabimo večje opazne sisteme, in hkrati dražja od gradnje linijsko podprtih plošč, saj jih moramo močnejše armirati. Stroškovna

primerjava gradnje plošč na stebrih z linijsko podprtimi ploščami tako ne daje bistvene razlike. Vendar z uporabo velikih opažnih sistemov, ki nam omogočajo hitrejšo gradnjo in boljšo kontrolo kakovosti, pocenimo gradnjo v primerjavi z linijsko podprtimi ploščami (Avak, 2009). Plošče na stebrih so »točkovno« podprte. Prenos obtežbe se tako razlikuje od prenosa pri linijsko podprtih ploščah. Pri njih se večji del obtežbe prenese preko krajših razponov, medtem ko se pri ploščah na stebrih večji del obtežbe prenese preko daljših razponov. Glavni momenti so razporejeni v radialni smeri okrog stebrov (Rösler, 2013). Potek glavnih momentov v plošči prikazujemo na sliki 2.



Slika 2: Razporeditev glavnih momentov v plošči

Velik problem plošč na stebrih predstavlja nevarnost preboja. Pri prenosu obtežbe iz plošče v steber se okrog stebrov pojavijo velike glavne natezne napetosti, ki povzročijo razpokanje betona. Ko je strižna odpornost plošč prekoračena, nastopi porušitev zaradi preboja (Bartol, 2007). Na sliki 3 prikazujemo razporeditve razpok pri preboju v prerezu in tlorisu.

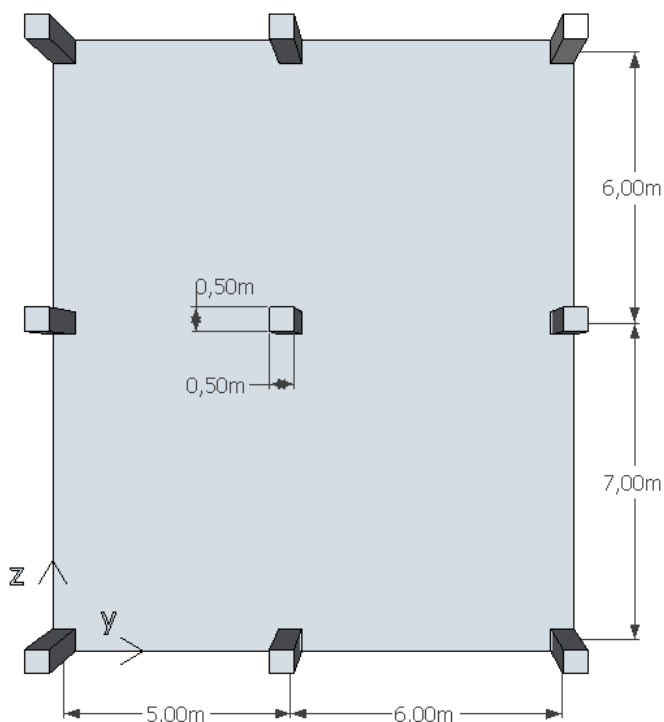


Slika 3: Razporeditev razpok pri preboju (povzeto po: Rösler, 2013, str.1)

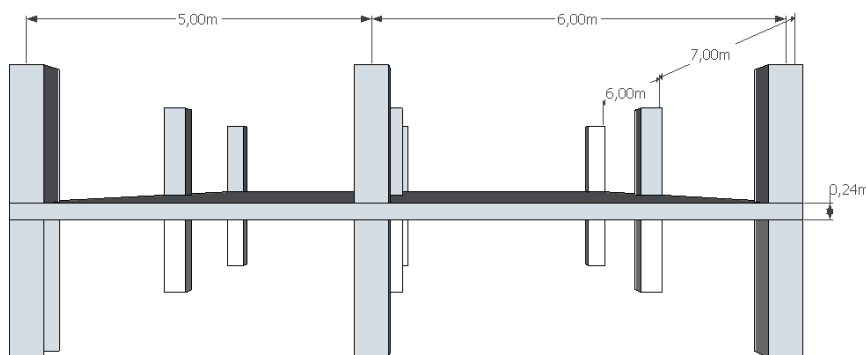
2 PODATKI O OBRAVNAVANI ARMIRANOBETONSKI PLOŠČI NA STEBRIH

2.1 Geometrijski podatki

Obraavnana plošča je podprta z devetimi stebri v rastru 3×3 . Stebri so na medsebojni oddaljenosti od 5,0 m pa do 7,0 m. Plošča je tlorisnih dimenzij 11,5 m \times 13,5 m, njena debelina pa znaša 24 cm. Vsi stebri so kvadratnega prečnega prereza s stranico 50 cm. Ploščo prikazujemo na slikah 4 in 5. Definiramo globalni koordinatni sistem (x, y, z). Izhodišče koordinatnega sistema postavimo v levi spodnji kot plošče. Pri tem koordinatna os y poteka v prečni smeri plošče, os z pa v vzdolžni smeri (glej sliko 4).



Slika 4: 3D pogled obravnane plošča na stebrih od zgoraj



Slika 5: 3D pogled obravnane plošča na stebrih od spredaj

2.2 Materialni podatki

Za nosilno konstrukcijo plošče izberemo beton trdnostnega razreda C 30/37 in jeklo za armiranje S 500. V nadaljevanju podajamo značilne mehanske karakteristike izbranega betona in armature.

- beton C30/37:

$$f_{ck} = 3,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, f_{cm} = 3,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, f_{ctm} = 0,29 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, E_{cm} = 3300 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

- jeklo za armiranje S 500 (rebraste armaturene palice in mrežna armatura):

$$f_{yk} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, E_S = 20000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

2.3 Podatki o obtežbi plošče

Na površini plošče učinkuje stalna in koristna obtežba. Stalna obtežba je posledica lastne teže konstrukcijskih in nekonstrukcijskih delov plošče. Koristna obtežba izvira iz namena uporabe površine plošče. Predvidimo, da je površina plošče namenjena poslovni dejavnosti. Dodatno so izvedene lahke predelne stene. Njihova razporeditev ni poznana, zato jih upoštevamo z nadomestno koristno obtežbo. V nadaljevanju podajamo karakteristične vrednosti obeh obtežb na enoto površine obravnavane plošče.

2.3.1 Stalna obtežba:

- | | |
|---------------------------------|--|
| • klasični parket hrast 1,5 cm: | $7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0,015 \text{ m} = 0,105 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ |
| • estrih 6 cm: | $24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0,06 \text{ m} = 1,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ |
| • stiropor 5 cm: | $0,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0,05 \text{ m} = 0,015 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ |
| • lastna teža plošče: | $25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0,24 \text{ m} = 6,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ |

$$g_p = 7,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2.3.2 Koristna obtežba

- kategorija površine B (SIST EN 1991-1-1:2004):
poslovni objekt
- predelne stene (SIST EN 1991-1-1:2004)

$$q_1 = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_p = 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2.4 Konstruktivske zahteve za ploščo

2.4.1 Določitev krovnega sloja betona

Obravnavamo beton v stavbah z nizko vlažnostjo zraka trdnostnega razreda C 30/37.

Najprej določimo razred konstrukcije S4, ki ima priporočeno projektno življenjsko dobo 50 let (preglednica 2.1, SIST EN 1990). Nato določimo razred izpostavljenosti XC1 (preglednica 4.1, SIST EN 1992-1-1). Za izbran razred izpostavljenosti konstrukcije preverimo orientacijski trdnostni razred za zagotavljanje trajnosti konstrukcije (preglednica E.1N, SIST EN 1992-1-1). Izbrani trdnostni razred betona C30/37 presega orientacijski trdnostni razred C20/25 glede na razred izpostavljenosti XC1. Sledi določitev nazivne debeline krovnega sloja betona po enačbi (1).

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}} \quad (1)$$

Pri tem so v enačbi (1) uporabljene naslednje vrednosti:

$$c_{\text{min}} = \max\{c_{\text{min,b}}; c_{\text{min,dur}} + \Delta c_{\text{dur,y}} - \Delta c_{\text{dur,st}} - \Delta c_{\text{dur,add}}; 10 \text{ mm}\}$$

$c_{\text{min,b}}$ - najmanjša debelina krovnega sloja glede na zahteve sprijemnosti,

$c_{\text{min,dur}}$ - najmanjša debelina krovnega sloja glede na pogoje okolja,

$\Delta c_{\text{dur,y}}$ - dodatni varnostni sloj. Priporočena vrednost $\Delta c_{\text{dur,y}} = 0$,

$\Delta c_{\text{dur,st}}$ - zmanjšanje najmanjše debeline krovne plasti pri uporabi nerjavnega jekla. V obravnavanem primeru nismo uporabili nerjavnega jekla, zato velja $\Delta c_{\text{dur,st}} = 0$,

$\Delta c_{\text{dur,add}}$ - zmanjšanje najmanjše debeline krovne plasti pri uporabi dodatne zaščite. V obravnavanem primeru ni uporabljena posebna zaščita, zato je $\Delta c_{\text{dur,add}} = 0$.

$$c_{\text{min,b}} = \Phi_{\text{palice}} = 10 \text{ mm}$$

Za Φ_{palice} upoštevamo ocenjen premer palice armaturne mreže.

V preglednici 4.3N SIST EN 1992-1-1 so podane prilagoditve razreda konstrukcije. Tako lahko izbrani razred konstrukcije S4 znižamo za en razred in pri določitvi $c_{\text{min,dur}}$ upoštevamo razred konstrukcije S3. Dobimo $c_{\text{min,dur}} = 10 \text{ mm}$ (preglednica 4.4N, SIST EN 1992-1-1).

Najmanjša debelina krovnega sloja betona znaša:

$$\begin{aligned} c_{\text{min}} &= \max\{c_{\text{min,b}}; c_{\text{min,dur}} + \Delta c_{\text{dur,y}} - \Delta c_{\text{dur,st}} - \Delta c_{\text{dur,add}}; 10 \text{ mm}\} = \\ &= \max(10 \text{ mm}; 10 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

Določimo še dovoljeno odstopanje $\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm}$, ki ga upoštevamo s priporočeno vrednostjo. Torej:

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$

2.4.2 Minimalna količina vzdolžne armature v plošči

Največji dovoljeni in najmanjši potrebni prečni prerez armature v glavni smeri plošče določimo z enačbama (2) in (3).

$$A_{s,max} = 0,04 * A_C \quad (2)$$

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b_T * d \\ 0,0013 * b_T * d \end{array} \right\} \quad (3)$$

V enačbi (2) je A_C površina betonskega prereza plošče, f_{ctm} v enačbi (3) je povprečna natezna trdnost betona, f_{yk} je karakteristična meja elastičnosti armature, b_T je širna plošče, d pa je statična višina prereza.

Največja medsebojna oddaljenost armaturnih palic za glavno armaturo je podana v enačbi (4) in je:

$$a_{max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 * h \\ 400 \text{ mm} \end{array} \right\} \quad (4)$$

Največja medsebojna oddaljenost armaturnih palic za razdelilno armaturo je podana v enačbi (5) in je:

$$a_{max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3,5 * h \\ 450 \text{ mm} \end{array} \right\} \quad (5)$$

Pri tem je h debelina plošče.

V območjih z največjimi upogibnimi momenti moramo medsebojne oddaljenosti palic pri glavni in razdelilni armaturi zmanjšati v skladu z enačbama (6) in (7).

$$a_{max} = \min \left\{ \begin{array}{l} h \\ 250 \text{ mm} \end{array} \right\} \quad (6)$$

$$a_{max} = \min \left\{ \begin{array}{l} h \\ 400 \text{ mm} \end{array} \right\} \quad (7)$$

Najmanjšo medsebojno oddaljenost posameznih vzporednih palic pa določa enačba (8) in je:

$$a_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \Phi \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} \quad (8)$$

Pri tem je Φ premer palic, d_g pa je premer največjega zrna agregata.

3 ANALIZA PLOŠČE NA STEBRIH NA POENOSTAVLJEN NAČIN Z METODO NADOMESTNIH OKVIRJEV

3.1 Določitev nadomestnih okvirjev

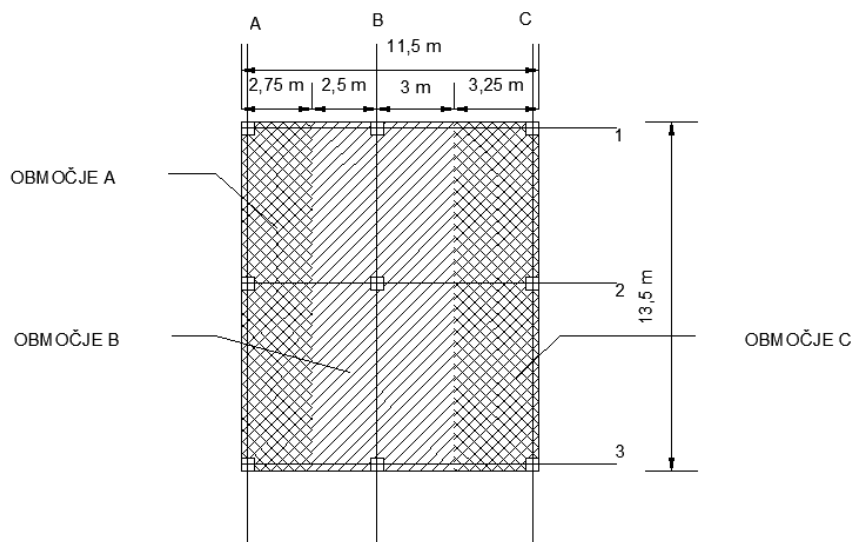
3.1.1 Osnovna pravila

Nadomestne okvirje določimo skladno z navodili iz standarda EN 1992-1-1. Najprej ploščo na stebrih razdelimo na vzdolžne pasove (območja) po širini plošče. Posamezni pas zavzame širino, ki ustreza razdalji med točkama, ki se nahajata na polovici razdalje med osema sosednjih stebrov. V primeru pasu na robu je ta na eni strani omejen z robom plošče, na drugi pa ga omejuje točka, ki se nahaja na polovici razdalje do osi sosednjega stebra. Pasovi in stebri tvorijo sistem nadomestnih okvirjev v smeri globalne koordinatne osi z.

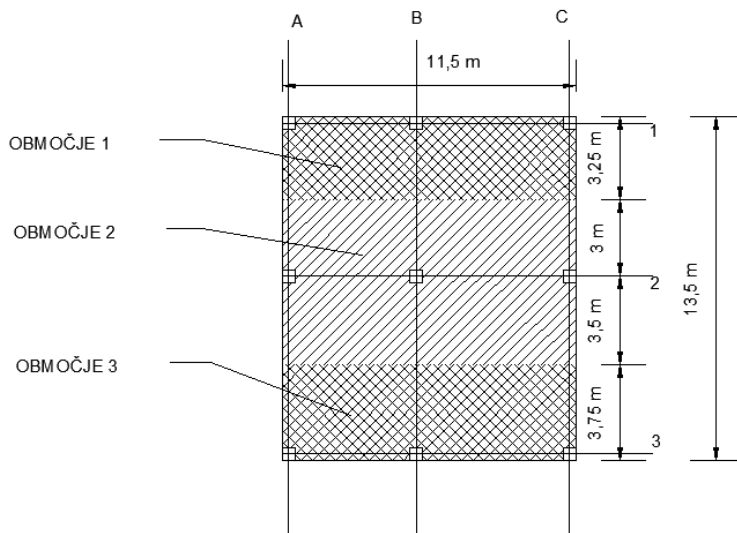
Po enakem postopku ploščo razdelimo na pasove še v prečni smeri. Tako tvorimo nadomestne okvirje še v smeri globalne koordinatne osi y.

Pri računu togosti plošče upoštevamo bruto prečni prerez. Za navpično obtežbo izračun togosti temelji na celotni širini plošče. Za vodoravno obtežbo pa upoštevamo le 40% izračunane vrednosti zaradi povečane podajnosti stikov med stebrom in ploščo. Nadomestne okvirje analiziramo v vzdolžni in prečni smeri.

Območja plošče, označena s črkami A, B in C (glej sliko 6), so del okvirjev A, B, C, ki potekajo v vzdolžni smeri plošče. Območja plošče, označena s števkami 1, 2, 3 (glej sliko 7), pa so del okvirjev 1, 2, 3, ki potekajo v prečni smeri plošče. To pomeni, da v plošči tvorimo 6 med seboj pravokotnih okvirjev.



Slika 6: Okvirji A, B in C



Slika 7: Okvirji 1, 2 in 3

3.2 Obtežba in obremenitev nadomestnih okvirjev

Obtežbo in obremenitev določimo za vsak nadomestni okvir posebej. Pri računu obremenitev upoštevamo najbolj neugodno razporeditev obtežbe na okvirju.

V nadaljevanju najprej izračunamo linijsko obtežbo na posameznih nadomestnih okvirjih:

$$\text{Okvir A : } g = 2,75 \text{ m} * g_p = 2,75 \text{ m} * 7,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 20,79 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q = 2,75 \text{ m} * q_p = 2,75 \text{ m} * 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 6,88 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Okvir B : } g = 5,5 \text{ m} * g_p = 5,5 \text{ m} * 7,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 41,58 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q = 5,5 \text{ m} * q_p = 5,5 \text{ m} * 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 13,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Okvir C : } g = 3,25 \text{ m} * g_p = 3,25 \text{ m} * 7,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 24,57 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q = 3,25 \text{ m} * q_p = 3,25 \text{ m} * 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 8,13 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Okvir 1 : } g = 3,25 \text{ m} * g_p = 3,25 \text{ m} * 7,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 24,57 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q = 3,25 \text{ m} * q_p = 3,25 \text{ m} * 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 8,13 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Okvir 2 : } g = 6,5 \text{ m} * g_p = 6,5 \text{ m} * 7,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 49,14 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q = 6,5 \text{ m} * q_p = 6,5 \text{ m} * 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 16,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Okvir 3 : } g = 3,75 \text{ m} * g_p = 3,75 \text{ m} * 7,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 28,35 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

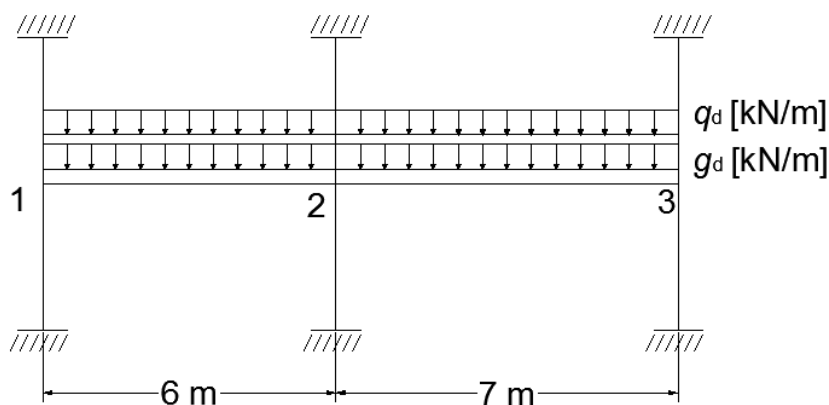
$$q = 3,75 \text{ m} * q_p = 3,75 \text{ m} * 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 9,38 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Projektna linijska obtežba (SIST EN 1990:2004):

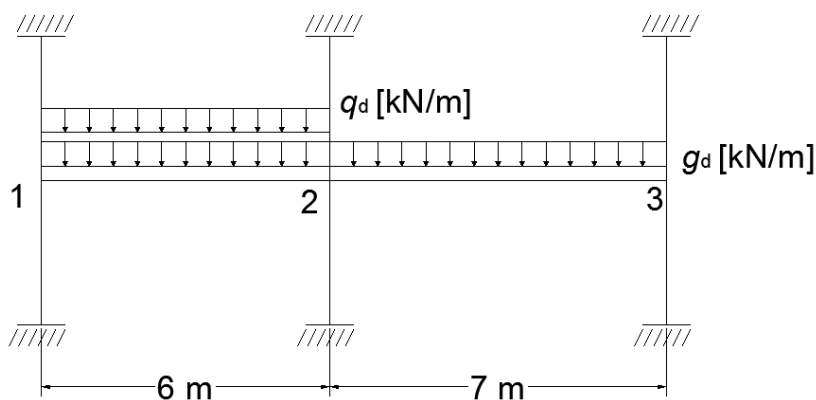
$$E_d = g_d + q_d = \gamma_g * g + \gamma_q * q = 1,35 * g + 1,5 * q \quad (9)$$

3.2.1 Nadomestni okvirji A, B in C v vzdolžni smeri plošče

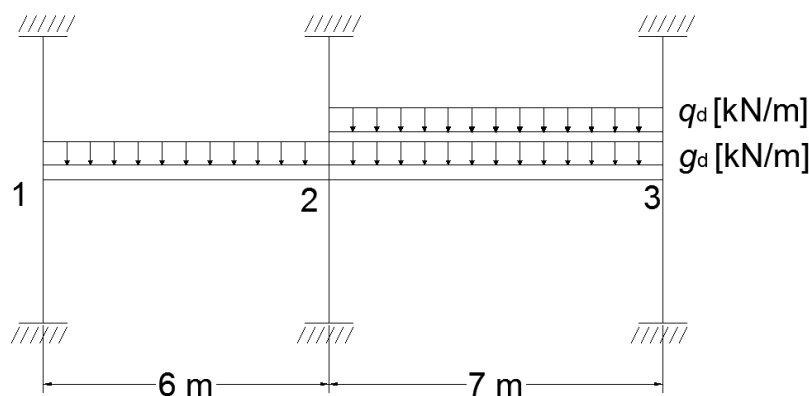
Na računskih modelih nadomestnih okvirjev v vzdolžni smeri plošče prikažemo razporeditev stalne in koristne obtežbe. Pri tem upoštevamo koristno obtežbo kot pomični vpliv, ki jo razporedimo na najneugodnejših delih vplivne površine glede na obravnavani učinek vpliva. Z $M_{Ed,1,min}$ označimo minimalni upogibni moment nad robnim stebrom v osi 1, z $M_{Ed,2,levo,min}$ označimo minimalni upogibni moment levo od srednjega stebra v osi 2, z $M_{Ed,2,desno,min}$ označimo minimalni upogibni moment desno od srednjega stebra v osi 2, z $M_{Ed,3,min}$ označimo minimalni upogibni moment nad robnim stebrom v osi 3, z $M_{Ed,1-2,max}$ označimo maksimalni upogibni moment v polju med osema 1 in 2 ter z $M_{Ed,2-3,max}$ označimo maksimalni upogibni moment v polju med osema 2 in 3.



Slika 8: Razporeditev projektne obtežbe za določitev upogibnih momentov $M_{Ed,2,levo,min}$ in $M_{Ed,2,desno,min}$



Slika 9: Razporeditev projektne obtežbe za določitev upogibnih momentov $M_{Ed,1,min}$ in $M_{Ed,1-2,max}$

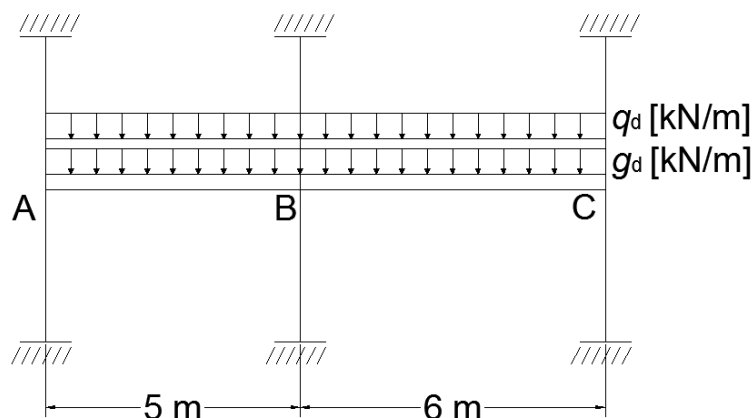
Slika 10: Razporeditev projektne obtežbe za določitev upogibnih momentov $M_{Ed,2-3,max}$ in $M_{Ed,3,min}$

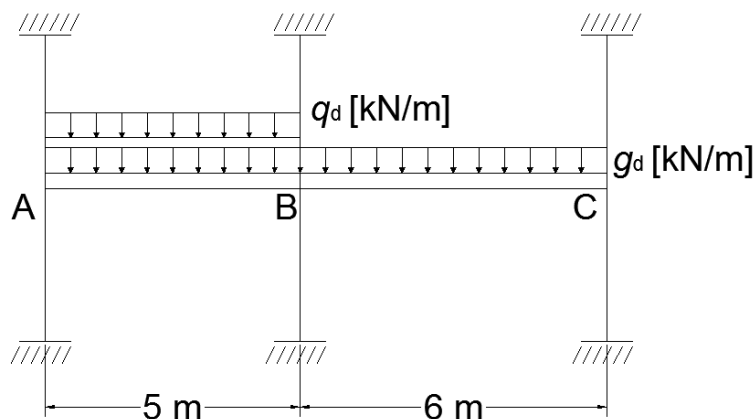
Preglednica 1: Projektne vrednosti upogibnih momentov za nadomestne okvirje A, B in C v vzdolžni smeri plošče

Okvir	$M_{Ed,1,min}$ [kNm]	$M_{Ed,2,levo,min}$ [kNm]	$M_{Ed,2,desno,min}$ [kNm]	$M_{Ed,3,min}$ [kNm]	$M_{Ed,1-2,max}$ [kNm]	$M_{Ed,2-3,max}$ [kNm]
A	-91,98	-133,73	-164,06	-133,29	63,69	88,89
B	-183,92	-267,41	-328,05	-266,53	127,36	177,74
C	-108,7	-158,04	-193,88	-157,52	75,27	105,05

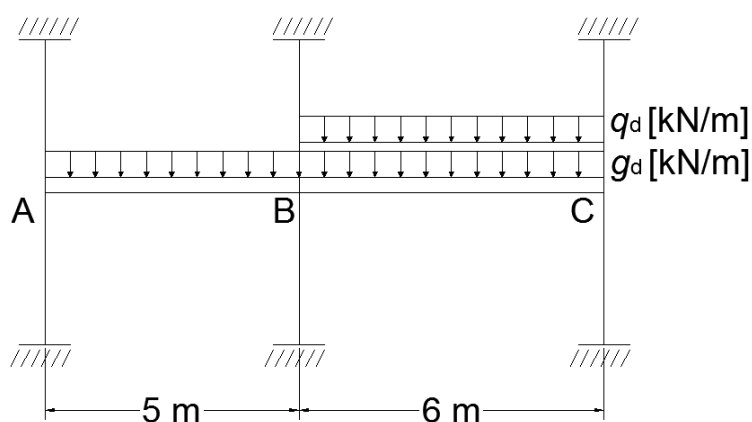
3.2.2 Nadomestni okvirji 1, 2 in 3 v prečni smeri plošče

Na računskih modelih nadomestnih okvirjev v prečni smeri plošče prikažemo razporeditev stalne in koristne obtežbe. Pri tem upoštevamo koristno obtežbo kot pomični vpliv, ki jo razporedimo na najneugodnejših delih vplivne površine glede na obravnavani učinek vpliva. Z $M_{Ed,A,min}$ označimo minimalni upogibni moment nad robnim stebrom v osi A, z $M_{Ed,B,levo,min}$ označimo minimalni upogibni moment levo od srednjega stebra v osi B, z $M_{Ed,B,desno,min}$ označimo minimalni upogibni moment desno od srednjega stebra v osi B, z $M_{Ed,C,min}$ označimo minimalni upogibni moment nad robnim stebrom v osi C, z $M_{Ed,A-B,max}$ označimo maksimalni upogibni moment v polju med osema A in B ter z $M_{Ed,B-C,max}$ označimo maksimalni upogibni moment v polju med osema B in C.

Slika 11: Razporeditev projektne obtežbe za določitev upogibnih momentov $M_{Ed,B,levo,min}$ in $M_{Ed,B,desno,min}$



Slika 12: Razporeditev projektne obtežbe za določitev upogibnih momentov $M_{Ed,A,min}$ in $M_{Ed,A-B,max}$



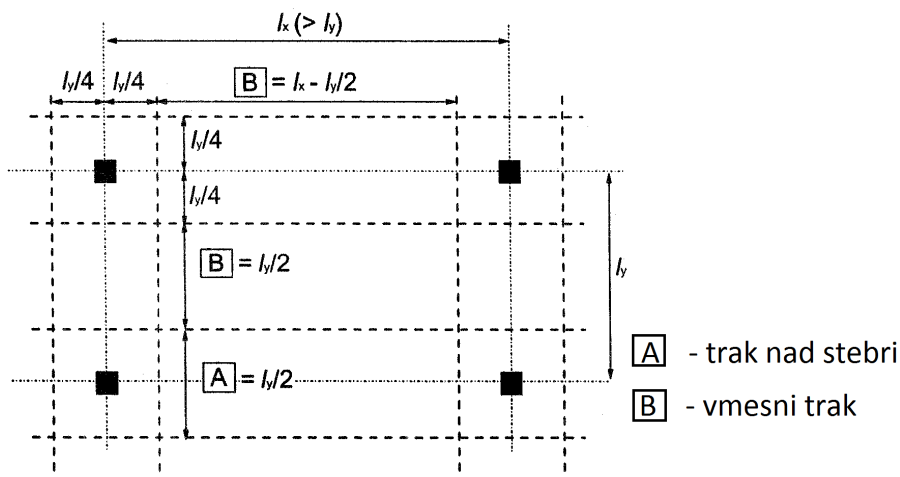
Slika 13: Razporeditev projektne obtežbe za določitev upogibnih momentov $M_{Ed,B-C,max}$ in $M_{Ed,C,min}$

Preglednica 2: Projektne vrednosti upogibnih momentov za nadomestne okvirje 1, 2 in 3 v prečni smeri plošče

Okvir	$M_{Ed,A,min}$ [kNm]	$M_{Ed,B,levo,min}$ [kNm]	$M_{Ed,B,desno,min}$ [kNm]	$M_{Ed,C,min}$ [kNm]	$M_{Ed,A-B,max}$ [kNm]	$M_{Ed,B-C,max}$ [kNm]
1	-72,41	-113,11	-142,24	-113,27	52,73	78,6
2	-144,8	-226,18	-284,44	-226,5	105,45	157,17
3	-83,55	-130,51	-164,12	-130,69	60,85	90,69

3.3 Porazdelitev upogibnih momentov po širini plošče

Upogibne momente v nadomestnih okvirjih, ki smo jih izračunali v prejšnjem razdelku, moramo v nadaljevanju porazdeliti po širini plošče skladno z določili iz standarda SIST EN 1992-1-1. Najprej pasove plošče (območja) razdelimo na trakove nad stebri ter vmesne trakove. Razdelitev pasov plošče na trakove prikazujemo na sliki 14.



Slika 14: Razdelitev plošče na trakove (povzeto po EN 1992-1-1, 2004, str. 218)

V primeru, ko je širina kapitelov večja od $\frac{l_y}{3}$, uporabimo za širino traku nad stebri širino kapitelov. Kjer je širina traku nad stebri različna od $0,5 l_y$ ali je enaka širini kapitela, moramo širino vmesnega traku ustrezno prilagoditi.

Pozitivne in negativne upogibne momente v nadomestnih okvirjih iz analize porazdelimo na trakove med stebri ter vmesne trakove skladno z razmerji, ki jih podajamo v preglednici 3.

Preglednica 3: Porazdelitev negativnih in pozitivnih upogibnih momentov iz nadomestnih okvirjev na trakove nad stebri in vmesne trakove (povzeto po EN 1992-1-1, 2004, str. 219)

	Negativni momenti	Pozitivni momenti
Trak nad stebri	60 - 80%	50 - 70%
Vmesni trak	40 - 20%	50 - 30%

Opomba: Celotni negativni in pozitivni momenti, ki jih skupaj prevzamejo trakovi nad stebri in vmesni trakovi, morajo v seštevku znašati 100 %.

Izberemo razmerje porazdelitve, kot ga navajamo v preglednici 4.

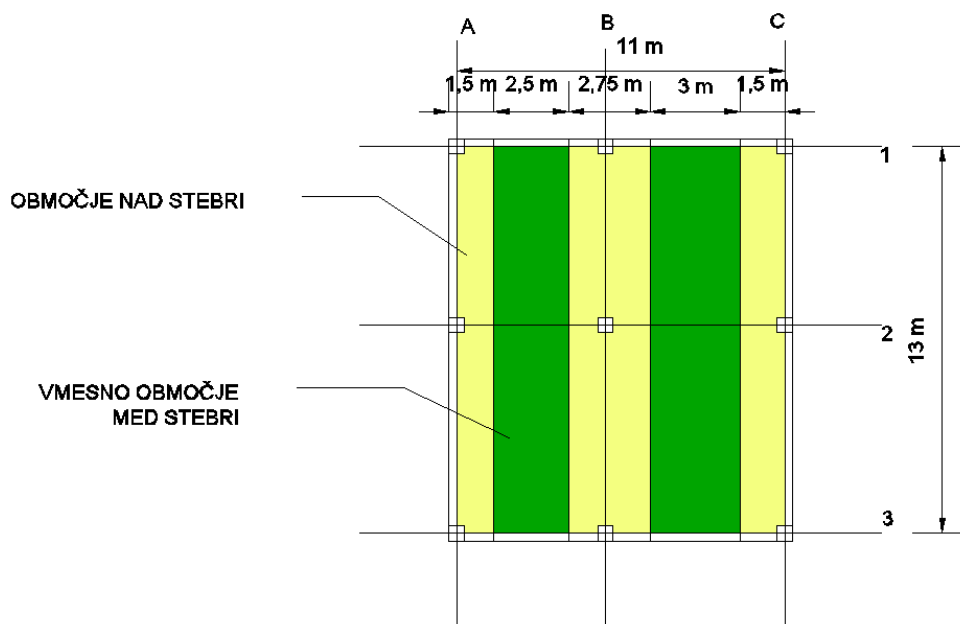
Preglednica 4: Izbrana porazdelitev upogibnih momentov iz nadomestnih okvirjev A, B, C, 1, 2 in 3 na trakove

	Negativni momenti	Pozitivni momenti
Trak nad stebri	70%	60%
Vmesni trak	30%	40%

Pri tem moramo paziti, da celotni negativni in pozitivni momenti, ki jih skupaj prevzamejo trakovi nad stebri in vmesni trakovi, v seštevku znašajo 100 %.

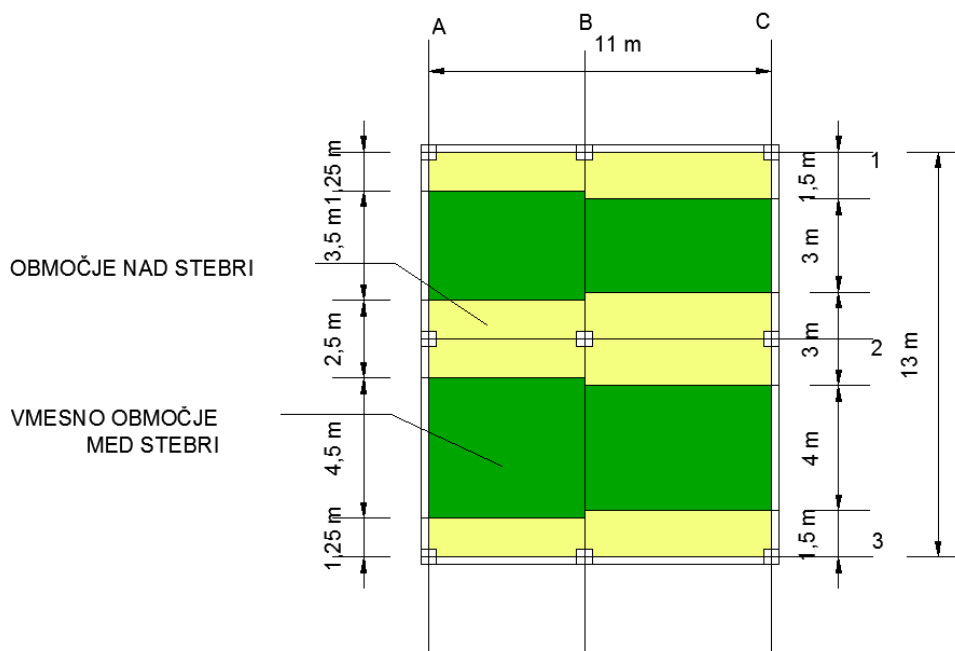
3.3.1 Razdelitev vzdolžnih in prečnih pasov plošče na trakove

Na sliki 15 prikazujemo razdelitev pasov v vzdolžni smeri plošče na trakove nad stebri in vmesne trakove.



Slika 15: Razdelitev okvirjev A, B in C na trakove nad stebri in vmesne trakove

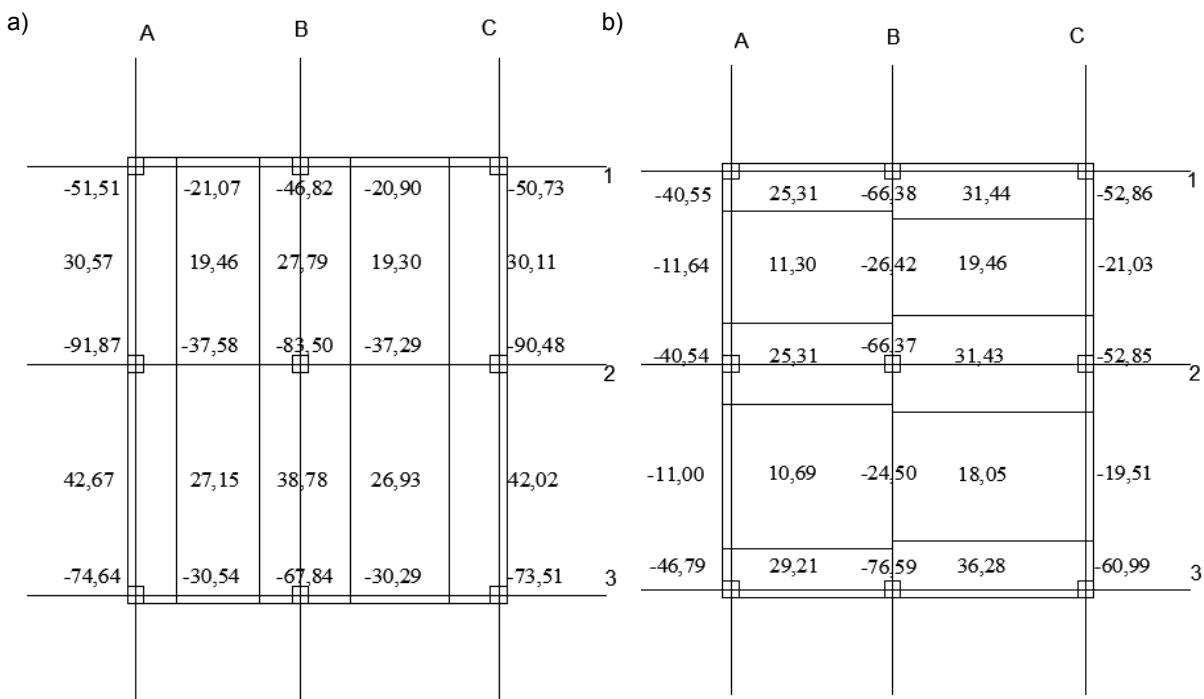
Na sliki 16 pa prikazujemo razdelitev pasov v prečni smeri na trakove.



Slika 16: Razdelitev okvirjev 1, 2 in 3 na trakove nad stebri in vmesne trakove

3.3.2 Porazdelitev upogibnih momentov na trakove

Porazdelitev upogibnih momentov na trakove nad stebri in vmesne trakove izvedemo v skladu s preglednico 4. Rezultate shematsko prikazujemo na sliki 17, kjer so upogibni momenti podani v kNm/m. Podroben izpis izračunanih porazdeljenih momentov po trakovih prikazujemo v preglednici A.1 v prilogi A.



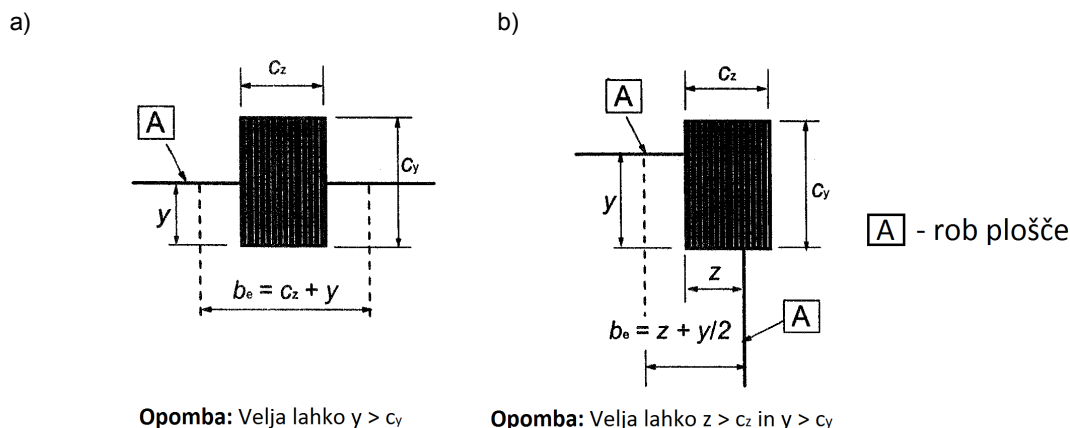
Slika 17: Shematski prikaz porazdelitve upogibnih momentov na trakove v: a) vzdolžni in b) prečni smeri plošče

3.3.3 Omejitev momentov na stiku plošče z robnimi in vogalnimi stebri

Negativne momente, ki se s plošče prenesejo na robni oziroma vogalni steber, moramo omejiti z odpornostnim momentom M_R pravokotnega prereza, ki ga izračunamo s pomočjo enačbe (10).

$$M_R = 0,17 * b_e * d^2 * f_{ck} \quad (10)$$

Pri tem je b_e učinkovita širina gladke plošče na stebrih, ki jo določimo s pomočjo slike 18.



Slika 18: Obravnavana širina b_e za: a) robni in b) vogalni steber (povzeto po EN 1992-1-1, 2004, str. 160)

Pri tem pozitivne momente v končnih poljih ustrezno prilagodimo. V primeru, da uporabimo obodni nosilec, ki je ustrezno dimenzioniran na torzijsko obremenitev, pogoja (10) ni potrebno upoštevati (EN 1992-1-1, 2004).

M_R za robni steber:

$$M_R = 0,17 * b_e * d^2 * f_{ck} = 0,17 * (0,50 \text{ m} + 0,50 \text{ m}) * (0,44 \text{ m})^2 * 30000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 987,36 \text{ kNm}$$

M_R za vogalni steber:

$$M_{\max} = 0,17 * b_e * d^2 * f_{ck} = 0,17 * (0,50 \text{ m} + 0,25 \text{ m}) * (0,44 \text{ m})^2 * 30000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 740,52 \text{ kNm}$$

Preglednica 5: Primerjava momentov v plošči ob robnih oziroma vogalnih stebrih z odpornostnim momentom M_R

	lega stebra z največjo obremenitvijo	M [kNm]	M_R [kNm]
steber ob robu	okvir B, steber 3	-266,53	-987,36
steber v vogalu	okvir C, steber 3	-157,52	-740,52

Ugotovimo, da momenti v plošči ob robnih oziroma vogalnih stebrih ne presegajo odpornostnih momentov M_R .

3.4 Dimenzioniranje vzdolžne armature v plošči

Pri projektiranju vzdolžne armature v plošči uporabljamo projektno tlačno trdnost betona f_{cd} in projektno mejo elastičnosti armature f_{yd} . Projektni trdnosti določimo na sledeč način:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (11)$$

$$f_{cd} = 1,0 * \frac{3,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,5} = 2,00 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (12)$$

$$f_{yd} = \frac{50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,15} = 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Enačbi (11) in (12) povzamemo po standardu SIST EN 1992-1-1.

Predpostavimo premer armaturne palice $\Phi = 10$ mm. Višina plošče je $h = 24$ cm. Na podlagi podanih vrednosti izračunamo statično višino plošče v vzdolžni (smer z) in prečni smeri (smer y):

$$d_{\text{vzdolžno}} = h - c_{\text{nom}} - \frac{\Phi}{2} = 24 \text{ cm} - 2,0 \text{ cm} - \frac{1,0 \text{ cm}}{2} = 21,5 \text{ cm}$$

$$d_{\text{prečno}} = h - c_{\text{nom}} - \Phi - \frac{\Phi}{2} = 24 \text{ cm} - 2,0 \text{ cm} - 1,0 \text{ cm} - \frac{1,0 \text{ cm}}{2} = 20,5 \text{ cm}$$

Največja količina vzdolžne armature v plošči je omejena z enačbo (2):

$$A_{s,\text{max}} = 0,04 * A_C = 0,04 * 100 \text{ cm} * 24 \text{ cm} = 96 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Minimalno količino natezne vzdolžne armature v plošči pa določimo s pomočjo enačbe (3):

$$A_{s,\text{min,vzdolžno}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b_T * d_{\text{vzdolžno}} \\ 0,0013 * b_T * d_{\text{vzdolžno}} \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 * \frac{0,29 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} * 100 \text{ cm} * 21,5 \text{ cm} \\ 0,0013 * 100 \text{ cm} * 21,5 \text{ cm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 3,24 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \\ 2,80 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \end{array} \right\} = 3,24 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{s,\text{min,prečno}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b_T * d_{\text{prečno}} \\ 0,0013 * b_T * d_{\text{prečno}} \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 * \frac{0,29 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} * 100 \text{ cm} * 20,5 \text{ cm} \\ 0,0013 * 100 \text{ cm} * 20,5 \text{ cm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 3,09 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \\ 2,67 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \end{array} \right\} = 3,09 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Najmanjšo medsebojno oddaljenost posameznih vzporednih armaturnih palic določimo s pomočjo enačbe (8):

$$a_{\text{min}} = \max \left\{ \begin{array}{l} \Phi \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 10 \text{ mm} \\ 32 \text{ mm} + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = 37 \text{ mm}$$

Največja medsebojna oddaljenost armaturnih palic pa je določena z enačbo (6):

$$a_{\text{max}} = \min \left\{ \begin{array}{l} h \\ 250 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 240 \text{ mm} \\ 250 \text{ mm} \end{array} \right\} = 240 \text{ mm}$$

V nadaljevanju prikažemo primer dimenzioniranja vzdolžne armature v obravnavani plošči. Izberemo trak nad stebri za nadomestni okvir A. Upogibni moment v polju med stebroma je

$$M_{Ed,1-2,max} = 30,57 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}, \text{ pripadajoča osna sila pa } N_{Ed,1-2,max} = 0 \text{ kN.}$$

Armaturu dimenzioniramo s pomočjo koeficientov k_d in k_s iz preglednice za pravokotni prečni prerez pri osno-upogibni obremenitvi (Beg, 2009):

$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} * z_s \quad (13)$$

$$M_{Eds} = 30,57 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$k_d = \frac{M_{Eds}}{f_{cd} * d_{vzdolžno}^2} \quad (14)$$

$$k_d = \frac{30,57 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}}{2,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * (21,5 \text{ cm})^2} = 0,033$$

Izberemo mejni deformaciji - $\varepsilon_c/\varepsilon_s = 2,25/45\%$; $k_d = 0,033$, $k_s = 1,019$

$$A_s = k_s * \frac{M_{Eds}}{d_{vzdolžno} * f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} \quad (15)$$

$$A_s = 1,019 * \frac{3057 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}}{21,5 \text{ cm} * 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 3,33 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} > A_{s,min,vzdolžno} = 3,24 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Izberemo armaturo $\Phi 10/15 \text{ cm}$ ($A_{s,dejanski} = 5,24 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$).

Po enakem postopku izračunamo še armaturo za upogibne momente $M_{Ed,2-3,max}$, $M_{Ed,1,min}$, $M_{Ed,2,min}$ ter $M_{Ed,3,min}$ v traku nad stebri za nadomestni okvir A. Račun ponovimo še za nadomestne okvirje B, C, 1, 2 in 3. Rezultate računa prikazujemo v preglednici B.1 in B.2 v prilogi B.

4 ANALIZA PLOŠČE NA STEBRIH S POMOČJO RAČUNALNIŠKEGA PROGRAMA SAFE

4.1 Predstavitev programa Safe

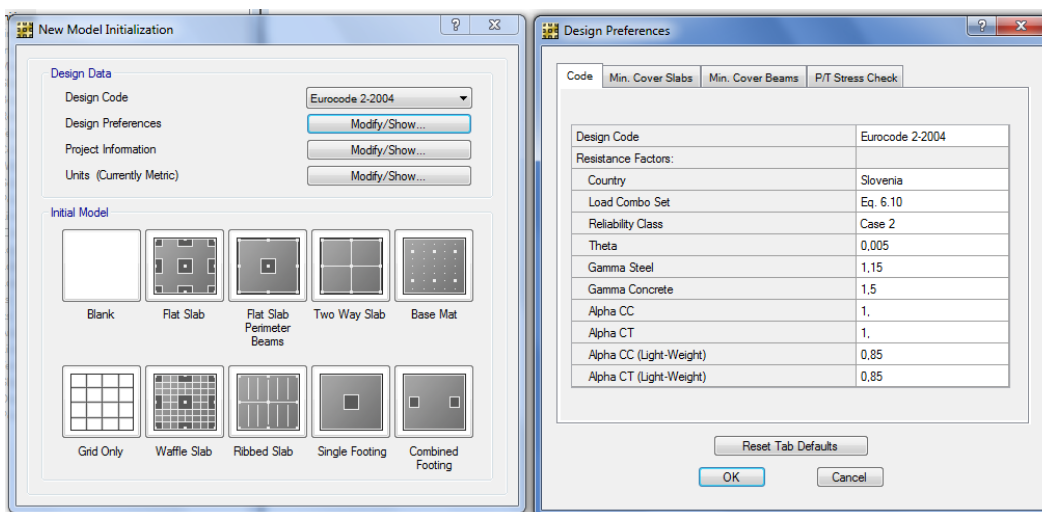
Program *Safe* (Computers & Structures, Inc. 2012) je programska oprema, namenjena analizi in dimenzioniranju horizontalnih nosilnih konstrukcij, kot so medetažne plošče, ravne strehe in temeljne plošče. Program omogoča tudi analizo prednapete plošče, lahko preverimo varnost plošče proti preboju, omogoča pa tudi poenostavljeno analizo ravne plošče na stebrih z metodo nadomestnih okvirjev. Modeli plošč v programu *Safe* so konsistentni z modeli iz programov *Etabs* in *Sap2000*. Konsistentnost modelov omogoča uporabnikom boljšo analizo celotne zgradbe. S programom *Safe* tako dobimo boljši vpogled v obnašanje plošč znotraj stavb (Kalny, 2013).

4.2 Analiza plošče na stebrih z metodo končnih elementov

4.2.1 Računski model plošče na stebrih

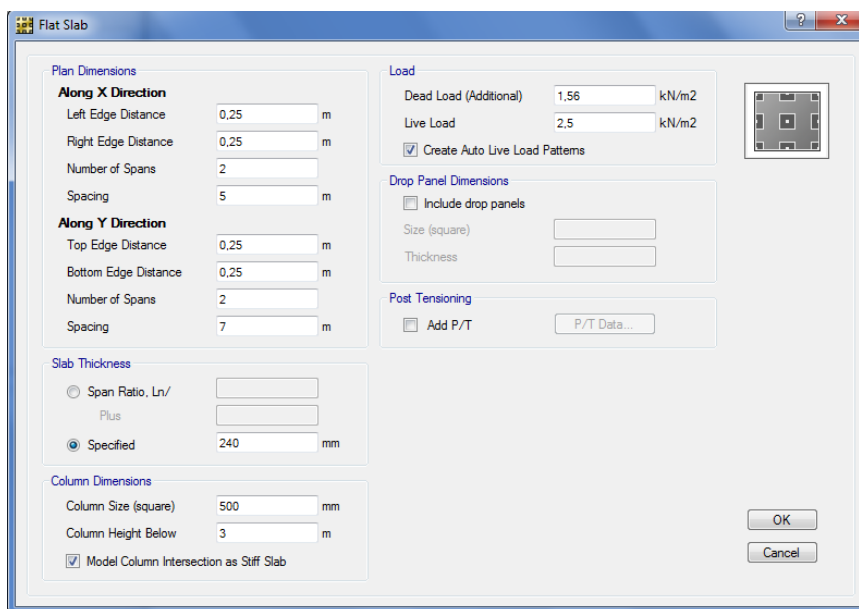
Obravnavamo ploščo na stebrih, ki smo jo podrobneje predstavili v razdelku 2.1. Plošča je obtežena s stalno obtežbo $g_p = 7,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ in s koristno obtežbo $q_p = 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$.

Modeliranja plošče se lotimo tako, da v programu izberemo *new model*. Odpre se nam okno *new model initialization* (slika 19), kjer izberemo standard po katerem računamo, določimo minimalno debelino krovnega sloja, izberemo priporočeno vrednost prereza armature in smer poteka armature (v eni ali v obeh smereh), preverimo varnostne faktorje za materiale in izberemo enote. Ploščo modeliramo kot ploščo na stebrih, zato izberemo ikono *flat slab*.



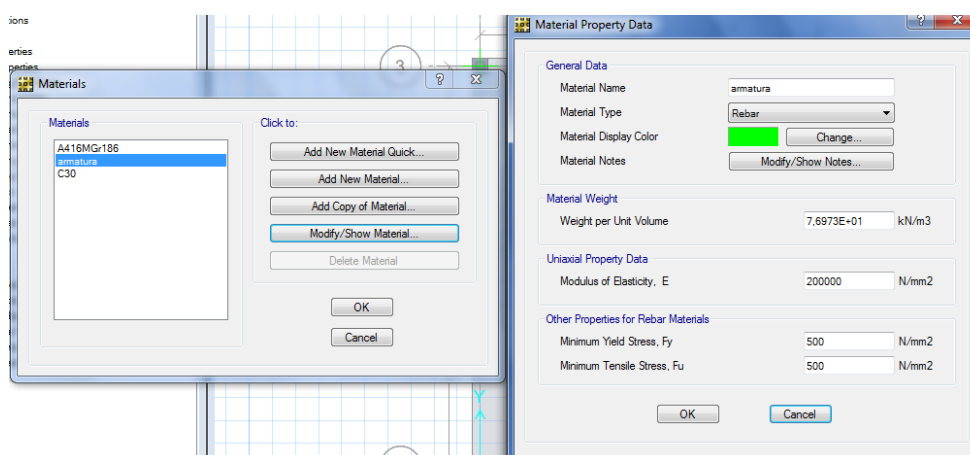
Slika 19: Uvodno okno za nastavitev modela

V oknu *flat slab* (slika 20) določimo dimenzije plošče, dimenzije stebrov, togost stika med ploščo in stebrom, velikost stalne in koristne obtežbe, definiramo ali stebri imajo kapitele in ali je plošča prednapeta. Program že upošteva lastno težo plošče, tako da moramo pri podajanju stalne obtežbe lastno težo odšteti od skupne stalne obtežbe g_p .



Slika 20: Okno *flat slab*

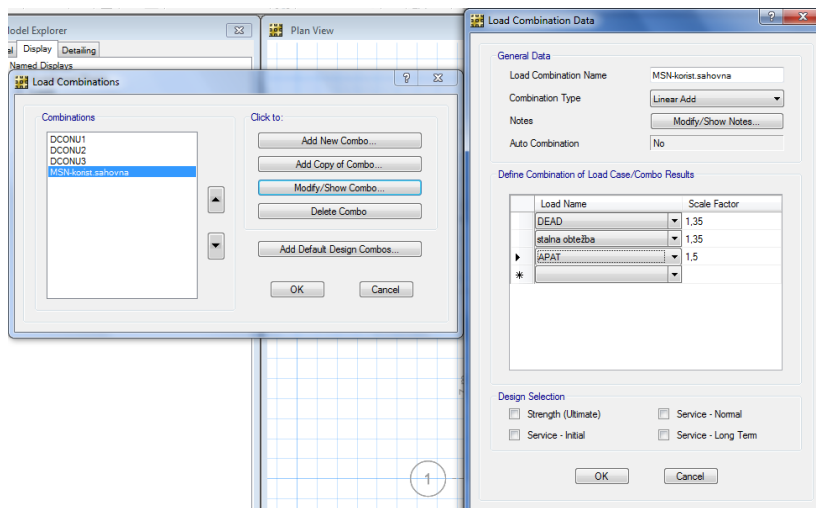
Ko zaključimo z vnosom osnovnih podatkov program izriše model. Definiramo še materialne karakteristike za betonsko ploščo in armaturo. To naredimo tako, da v meniju *define*, vrstica *materials*, izberemo material, ki ga želimo spremeniti. Kliknemo na *modify/show material*, kot nam prikazuje slika 21. Pomembno je, da spreminjamo že obstoječe materiale, saj tako ni potrebno spreminjati nastavitvev v prerezu plošče.



Slika 21: Prikaz oken za definiranje materialov

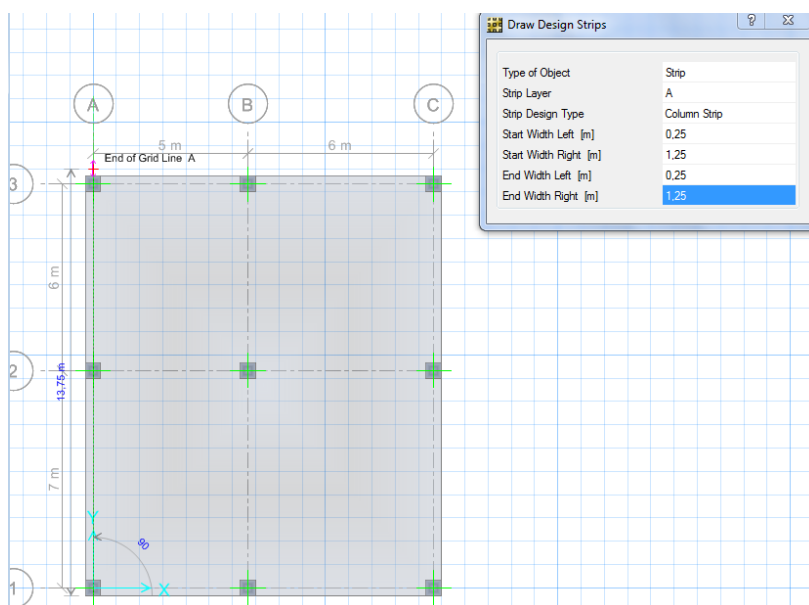
Obravnavana plošča (slika 4) ni simetrična. V oknu *flat slab* na sliki 20 smo jo določili kot simetrično, zato moramo geometrijo plošče ustrezno prilagoditi. To storimo tako, da najprej

popravimo dimenzije mreže (v oknu *coordinate systems*) in nato izrišemo ploščo (z ikono *draw slab*). Definiramo še obtežno kombinacijo za mejno stanje nosilnosti. V meniju *define*, vrstica *load combinations*, izberemo *add new combo*. Lastno težo in stalno obtežbo kombiniramo s faktorjem 1,35, koristno obtežbo pa šahovsko razporedimo po poljih ter jo kombiniramo z varnostnim faktorjem 1,5 (slika 22).



Slika 22: Prikaz oken za definiranje obtežnih kombinacij

Pred analizo plošče izrišemo še trakove nad stebri ter vmesne trakove. Trakove definiramo v vzdolžni in prečni smeri, kot smo to storili v razdelku 3.3.1 (slika 15 in 16). Z ikono *draw design strips* izrišemo trakove (slika 23). Program nam bo po končani analizi plošče prikazal potek upogibnih momentov vzdolž izbranih trakov.

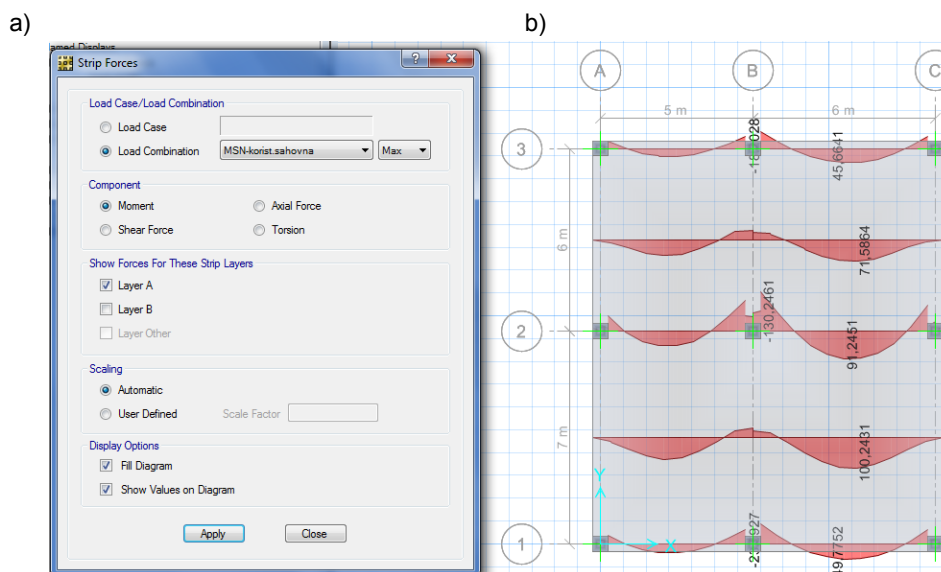


Slika 23: Prikaz izrisa trakov

Program *Safe* okrog stebrov samodejno poveča gostoto končnih elementov in tako izboljša natančnost izračuna.

4.2.2 Račun obremenitev plošče in potrebne količine armature

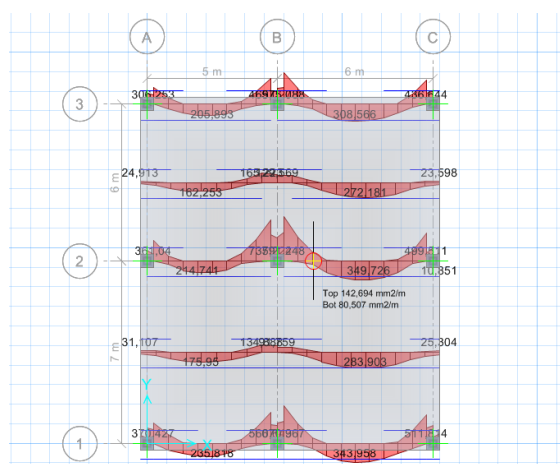
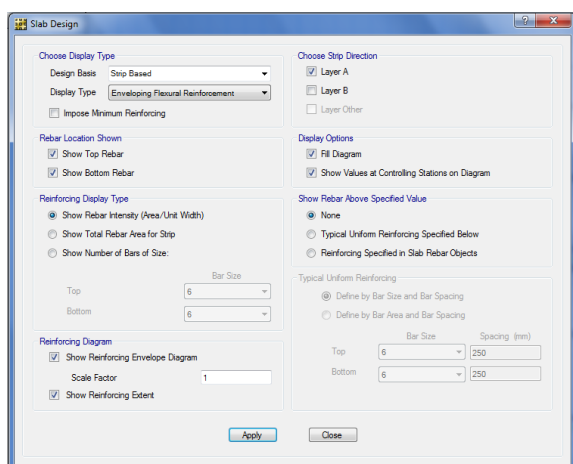
Analizo plošče poženemo s pritiskom na ikono *run analysis and design* v meniju *run*. Dobljene rezultate lahko pogledamo v meniju *display*. S pritiskom na *show strip forces* pogledamo notranje sile po trakovih. Pred izpisom rezultatov moramo izbrati vrsto obtežbe ali kombinacijo obtežb za katero želimo izpis. Nato izberemo še količino za izpis ter zelen način izpisa rezultatov. Izpolnjeno okno za prikaz momentov prikazujemo na sliki 24.



Slika 24: Prikaz: a) izpolnjenega okna za prikaz notranjih sil, b) momentov v prečni smeri

V preglednici C.1 (priloga C) prikazujemo upogibne momente v trakovih pri analizi plošče z metodo končnih elementov.

Količino potrebne armature prikažemo tako, da v meniju *display* pritisnemo ikono *show slab design*. Odpre se nam okno, kjer določimo prikaz armature. Izberemo vrsto, lego in smer poteka armature ter določimo način prikaza (slika 25). Na sliki 26 prikazujemo potrebno količino armature po trakovih v prečni smeri plošče.



Slika 25: Prikaz izpolnjenega okna za prikaz armatur Slika 26: Prikaz armature po trakovih v prečni smeri plošče

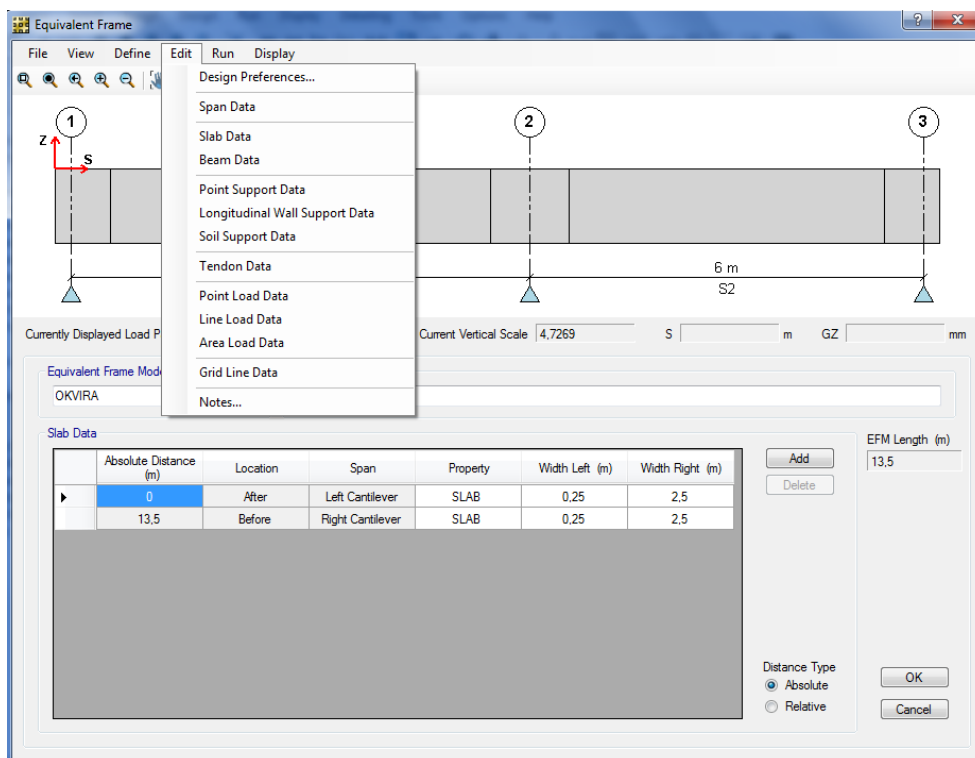
Količino potrebne armature, ki jo dobimo na podlagi analize plošče na stebrih z metodo končnih elementov, zberemo v preglednicah D.1 in D.2 v prilogi D.

4.3 Analiza plošče z metodo nadomestnih okvirjev

4.3.1 Določitev nadomestnih okvirjev

Program *Safe* omogoča tudi analizo plošče z metodo nadomestnih okvirjev. V meniju *tools* izberemo *equivalent frame*. Odpre se nam okno *equivalent frame models*, kjer so že ustvarjeni modeli nadomestnih okvirjev za trakove nad stebri, ki smo jih definirali v razdelku 4.2.1. Tako lahko te okvirje ustrezno prilagodimo ali ustvarimo nove.

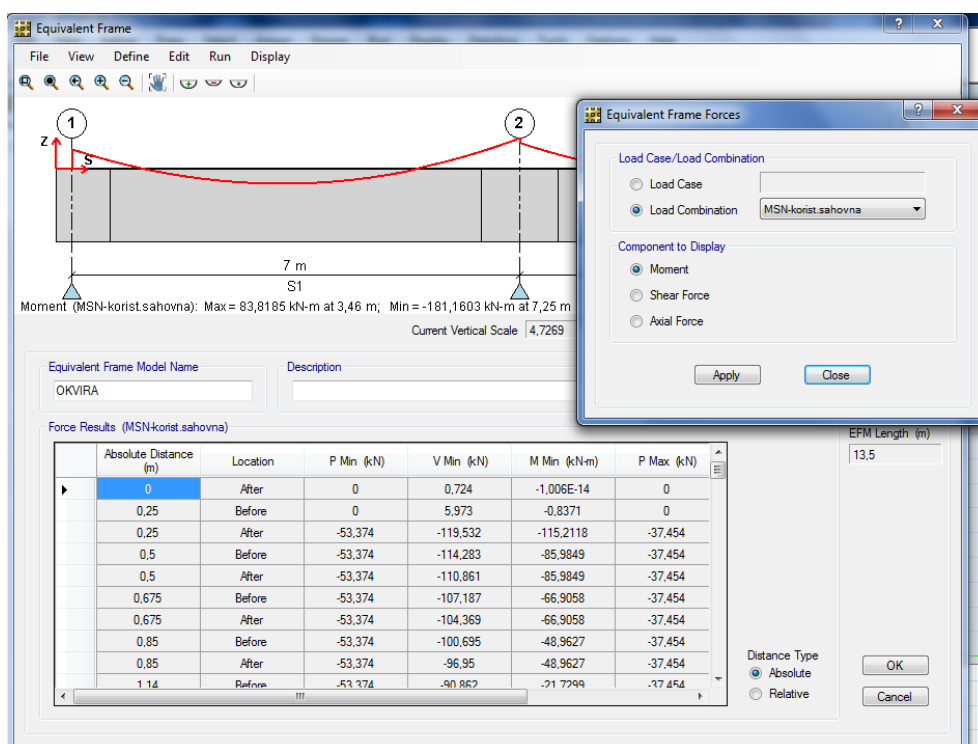
Ploščo modeliramo tako, da jo razdelimo na tri okvirje v vzdolžni (A, B in C) in tri okvirje v prečni smeri (1, 2 in 3), enako kot smo to storil v razdelku 3.1.1 (slika 6 in slika 7). Najprej modeliramo in analiziramo okvir A, nato to storimo še za preostale okvirje. Ko izberemo možnost, da želimo ustvariti nov okvir ali obstoječega spremeniti, se nam odpre okno *equivalent frame*. V meniju *edit* izberemo vrstico *slab data*, kjer definiramo širino nadomestnega okvirja (slika 27). Podatki o izbranih karakteristikah materialov v plošči, velikosti prereza, o vrsti obtežb in obtežnih kombinacijah ter ostale karakteristike, ki smo jih podali v glavnem oknu programe *Safe* (razdelek 4.2.1), so shranjene in jih ne spreminjamo. V kolikor bi jih želeli kljub temu spremeniti, lahko to storimo v meniju *define*.



Slika 27: Prikaz okna za modeliranje in analizo z metodo nadomestnih okvirjev

4.3.2 Izračun notranjih sil in potrebne armature

Z izbiro vrstice *run analysis* v meniju *run* poženemo računsko analizo plošče. Notranje sile, pomike, potek napetosti po okvirju ter količino potrebne armature lahko odčitamo v meniju *display*. Za prikaz notranjih sil izberemo *show forces*. Odpre se nam okno *equivalent frame forces*. Izberemo ustrezno obtežbo ali obtežno kombinacijo in količino, ki jo želimo prikazati (slika 28). Sedaj lahko odčitamo vrednost notranje sile na poljubni oddaljenosti od začetka okvirja.



Slika 28: Prikaz izpolnjenega okna za prikaz notranjih sil ter prikaz poteka momenta po okvirju

Ko izračunamo notranje sile v okvirjih, jih v skladu s standardom EN 1992-1-1 razdelimo na trakove nad stebri in vmesne trakove, kot smo to storili v razdelku 3.3.1. Nato določimo potrebno količino armature vzdolž trakov (razdelek 3.4). Rezultate zberemo v preglednicah E.1 in E.2 v prilogi E.

5 PRIMERJAVA REZULTATOV IZRAČUNOV

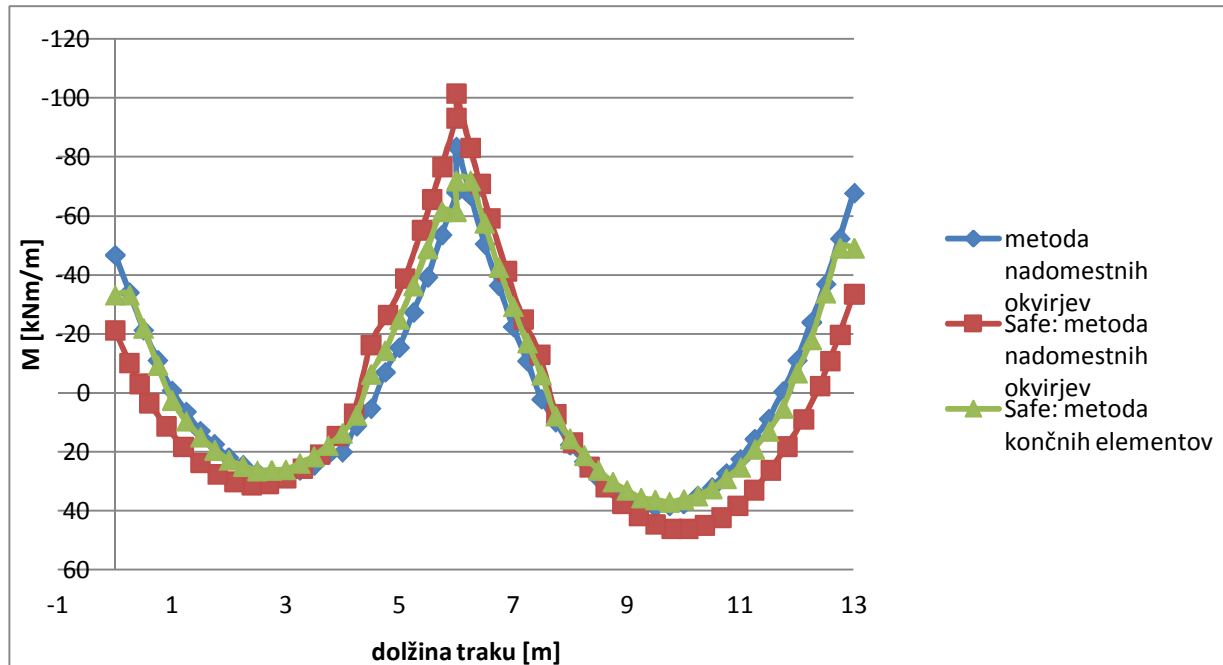
V tem razdelku prikažemo primerjavo rezultatov med različnimi načini analize ravne plošče na stebrih. Ploščo analiziramo na poenostavljen način z metodo nadomestnih okvirjev, z metodo končnih elementov v programu *Safe* ter z metodo nadomestnih okvirjev v programu *Safe*.

5.1 Primerjava upogibnih momentov v plošči

Metoda končnih elementov najnatančneje opiše dejanski potek momentov po plošči. Pri metodi nadomestnih okvirjev naredimo določeno napako pri izbiri modela in pri razdelitvi momentov iz okvirjev na trakove.

Standard EN 1992-1-1 podaja oceno prerazporeditve momentov iz okvirjev na trakove (preglednica 3) tako, da 60 do 80 % negativnih momentov lahko prerazporedimo na trakove nad stebri, preostanek, t.j. 40 do 20%, pa na vmesne trakove. 50 do 70% pozitivnih momentov okvirja prerazporedimo na trakove nad stebri, 50 do 30% momentov pa na vmesne trakove. Zaradi poljubne izbire prihaja do 20% velike razlike pri izračunu momentov na določenem traku.

Na sliki 29 prikazujemo primerjavo momentov na traku nad stebri v osi B.



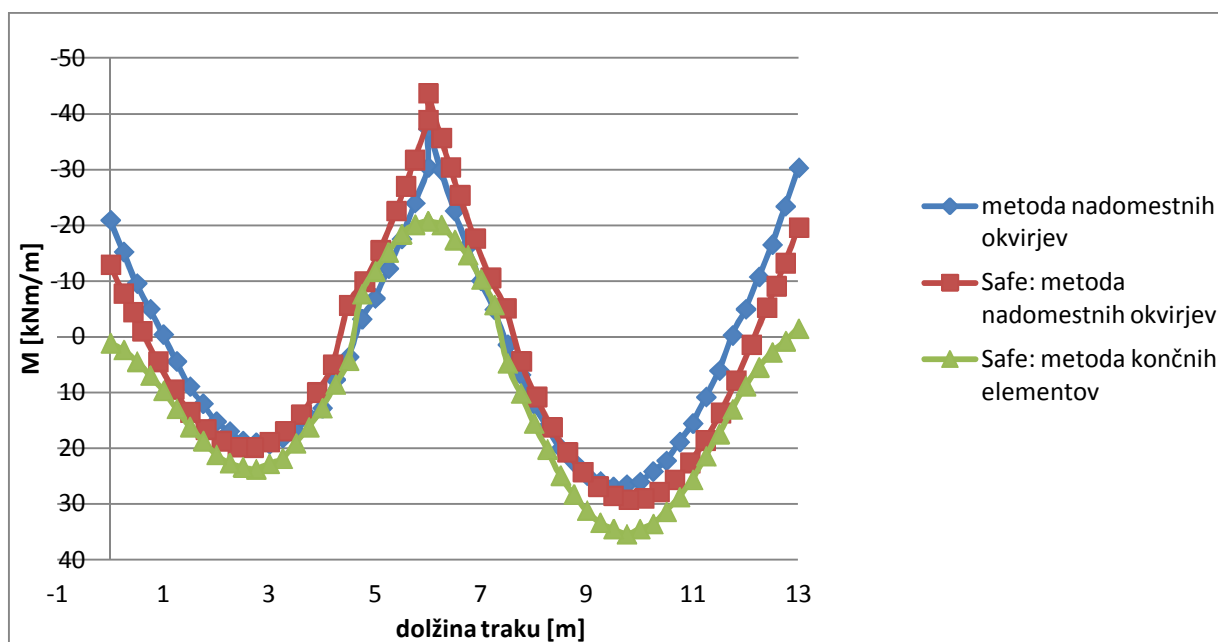
Slika 29: Razporeditev upogibnih momentov na traku nad stebri v osi B

Ugotovimo, da se rezultati analize z metodo nadomestnih okvirjev (razdelek 3.3) in z metodo končnih elementov (razdelek 4.2.) med seboj dobro prilegajo. Lahko sklepamo, da smo pri analizi plošče z metodo nadomestnih okvirjev izbrali primerno prerazporeditev momentov iz okvirjev na trakove. Rezultati analize z metodo nadomestnih okvirjev v programu *Safe* se

razlikujejo od rezultatov analize s preostalima dvema metodama. Razlike se pojavijo pri izbiri modela okvirja, saj je razporeditev momentov na trakove enaka pri obeh analizah z metodama nadomestnih okvirjev. Program *Safe* uporabi pri analizi okvirjev za širino podpor kar širino stebrov. Pri »pešč« analizi z metodo nadomestnih okvirjev pa smo okvirje podprli po celotni širini. Zaradi takšnega načina podpiranja so upogibni momenti pri analizi plošče z nadomestnimi okvirji v programu *Safe* v sredinskih stebrih okvirjev večji, v robnih stebrih pa manjši (v absolutnem smislu). V analizi s programom *Safe* dobimo tudi večje pozitivne momente.

Na sliki 30 prikazujemo še primerjavo potekov upogibnih momentov na vmesnem traku med osema B in C. Momenti pri analizi plošče z metodo končnih elementov v programu *Safe* se razlikujejo od momentov, določenih z metodama nadomestnih okvirjev. Razlike so posledica modela plošče pri metodi končnih elementov, kjer na robovih program upošteva manjšo vpetost plošče. Tako so momenti pri analizi plošče z metodo končnih elementov ob podporah in na sredini razponov večji.

Podrobnejšo primerjavo upogibnih momentov prikazujemo v preglednici F.1 v prilogi F.



Slika 30: Razporeditev upogibnih momentov po vmesnem traku med osema B in C

5.2 Primerjava potrebne vzdolžne armature v plošči

Pri primerjavi količin potrebne vzdolžne armature v plošči ugotovimo, da je najmanjša količina armature potrebna v primeru analize plošče z metodo končnih elementov. Analiza plošče z metodo končnih elementov je natančnejša od metode nadomestnih okvirjev. Pri metodi nadomestnih okvirjev naredimo določeno napako pri izbiri modela ter določeno napako pri porazdelitvi momentov iz okvirjev na trakove.

Zaradi premajhne količine zgornje armature v plošči ob robnih stebrih je metoda nadomestnih okvirjev, ki smo jo izvedli s pomočjo računalniškega programa *Safe*, najmanj primerna.

Rezultate računa potrebne količine armature v plošči pri analizi z različnimi metodami podrobneje prikazujemo v preglednici F.2 v prilogi F.

6 KONTROLA VARNOSTI PLOŠČE NA STEBRIH PROTI PREBOJU

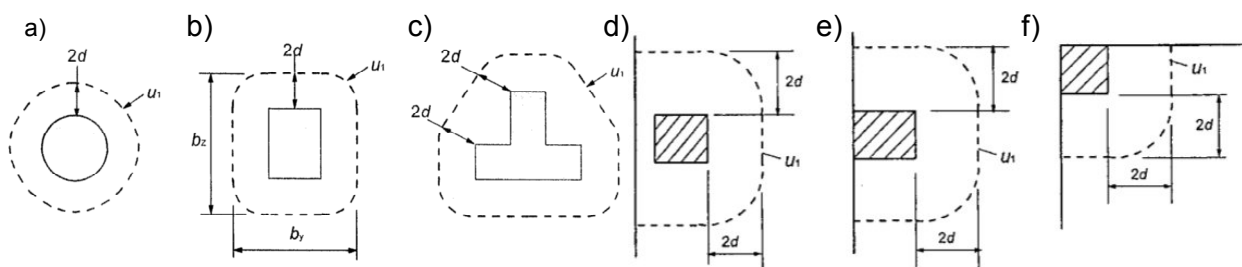
6.1 Opis problema preboja plošče

Zaradi majhne površine stične ploskve med stebrom in ploščo, prihaja do velikih glavnih nateznih napetosti pri prenosu obtežbe iz plošče v steber. Ko je presežena natezna trdnost betona, ta razpoka. Pojavijo se poševne strižne razpoke pod kotom 25° do 30° . Prve razpoke se v plošči pojavijo pri obtežbi, ki je enaka $1/2$ do $2/3$ porušne obtežbe. Ko je strižna odpornost plošče prekoračena, pride do preboja (Bartol, 2007).

Nevarnost preboja lahko zmanjšamo z izbiro debelejše plošče, boljšo kvaliteto betona, večjo količino armature, njenim krivljenjem, s povečanjem dimenzij stebra, z izdelavo kapitela ali z nameščanjem moznikov (Bartol, 2007).

6.2 Priporočila po standardu SIST EN 1992-1-1

Strig pri preboju se pojavi zaradi koncentrirane sile ali reakcije, ki deluje na razmeroma majhni ploskvi plošče nad stebrom (A_{Ioad}). Najprej preverimo strižno odpornost ob obodu stebra in v osnovnem kontrolnem obsegu u_1 . V primeru, da je potrebna strižna armatura, poiščemo dodatni obseg u_{out} , oziroma $u_{out,ef}$, v katerem strižna armatura ni več potrebna. Osnovni kontrolni obseg u_1 je definiran na oddaljenosti $2d$ od roba obremenjene ploskve in sicer tako, da je njegova dolžina minimalna. Primere osnovnih kontrolnih obsegov okrog različno lociranih stebrov prikazujemo na slikah 31 (Beg, 2009).



Slika 31: Prikaz osnovnega kontrolnega obsega u_1 okrog stebra: a), b), c) na sredini plošče d), e) na robu plošče f) v vogalu plošče (povzeto po EN 1992-1-1:2004, str. 98-99)

6.2.1 Dokaz strižne nosilnosti pri preboju

Ob obodu stebra se pojavi največja strižna napetost v_{Ed} , ki ne sme preseči največje projektne strižne odpornosti $v_{Rd,max}$. To zapišemo na sledeč način:

$$v_{Ed} = \beta * \frac{V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{Rd,max} = 0,5 * v * f_{cd} \quad (16)$$

Pri tem je $v = 0,60 * (1 - \frac{f_{ck}}{250})$ redukcijski faktor strižne nosilnosti betona (f_{ck} podajamo v MPa), β je koeficient, s katerim upoštevamo ekscentričnost obtežbe, V_{Ed} je prečna sila, ki

deluje na ploščo preko stebra, d je srednja vrednost statičnih višin prereza ($d = d_{\text{eff}} = \frac{d_x + d_y}{2}$), u_0 je obseg ob obodu stebra, f_{cd} pa je projektna tlačna trdnost betona.

Za koeficient β lahko uporabimo približne vrednosti, vendar le v primeru, ko imamo opravka s konstrukcijo, pri kateri horizontalna stabilnost ni odvisna od delovanja okvirjev iz stebrov in plošč in pri kateri je sprememba dolžine med razponi sosednjih stebrov manjša od 25%. V tem primeru je za vogalne stebre $\beta = 1,5$, za robne stebre $\beta = 1,4$, za notranje stebre pa je $\beta = 1,15$. Pri centrični obtežbi je $\beta = 1,0$. Splošne enačbe za izračun vrednosti koeficienta β so definirane v standardu SIST EN 1992-1-1 točka 6.4.3 odstavek 3 do 5 (Beg, 2009).

6.2.2 Odpornost plošče brez strižne armature

Strižno odpornost proti preboju plošče $v_{Rd,c}$ določimo na mestu osnovnega kontrolnega obsega u_1 . Če je projektna strižna napetost v_{Ed} manjša od strižne odpornosti proti preboju $v_{Rd,c}$ v obsegu u_1 , strižne armature proti preboju ne potrebujemo.

$$v_{Ed} = \beta * \frac{V_{Ed}}{u_1 d} \leq v_{Rd,c} \quad (17)$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \geq (v_{\min} + k_1 * \sigma_{cp}) \quad (18)$$

V enačbah (17) in (18) je V_{Ed} prečna sila, ki deluje na ploščo preko stebra, f_{ck} je karakteristična tlačna trdnost betona (f_{ck} podajamo v MPa), $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$ je koeficient statične višine plošče (d podajamo v mm), $\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} * \rho_{lz}} \leq 0,02$ pa je srednja stopnja armiranja plošče v smeri y in z . Vrednosti ρ_{ly} in ρ_{lz} predstavljata stopnjo armiranja z glavno natezno armaturo v območju širine stebra in na oddaljenosti $3d$ na vsako stran v posamezni smeri. V enačbi (18) je $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cy} + \sigma_{cz}}{2}$ srednja tlačna napetost plošče zaradi osnih sil $N_{Ed,y}$ in $N_{Ed,z}$ v smeri osi y in z (σ_{cp} podajamo v MPa, tlačno napetost upoštevamo kot pozitivno vrednost). $N_{Ed,y}$ in $N_{Ed,z}$ sta osni sili preko celega polja za notranje stebre in osni sili preko osnovnega kontrolnega prereza za robne stebre. $v_{\min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}}$ je reducirana strižna trdnost betona. Za vrednosti $C_{Rd,c}$ in k_1 upoštevamo priporočene vrednosti iz nacionalnega dodatka in sicer $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$ in $k_1 = 0,1$ (Beg, 2009).

6.2.3 Prebojna strižna odpornost plošče s strižno armaturo

V primeru, ko projektna strižna napetost v_{Ed} preseže strižno odpornost $v_{Rd,c}$, moramo v ploščo namestiti zadostno količino strižne armature. Izračunamo jo ob upoštevanju enakosti $v_{Ed} = v_{Rd,cs}$.

$$v_{Rd,cs} = 0,75 * v_{Rd,c} + 1,5 * \frac{d}{s_r} * A_{sw} * f_{ywd,ef} * \frac{1}{u_1 d} * \sin \alpha \quad (19)$$

Enačbo (19) preuredimo in dobimo izraz za račun potrebne količine armature.

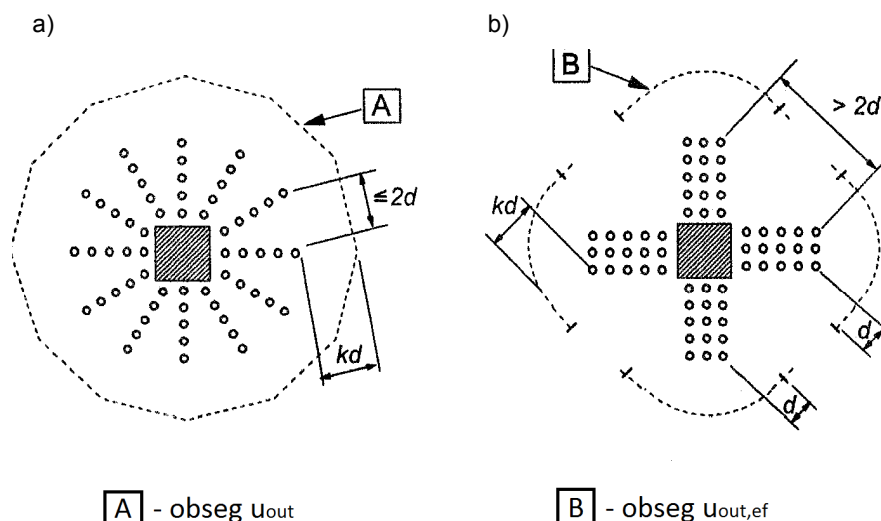
$$\frac{A_{sw}}{s_r} = \frac{v_{Ed} - 0,75 * v_{Rd,c}}{1,5 * f_{ywd,ef} * \frac{1}{u_i} * \sin \alpha} \quad (20)$$

V enačbi (20) je A_{sw} ploščina prečnega prereza strižne armature okoli stebra v enem izmed obsegov, s_r je medsebojna oddaljenost obsegov strižne armature v radialni smeri, $f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 * d \leq f_{ywd}$ je učinkovita projektna trdost strižne armature proti preboju, d je srednja vrednost statičnih višin ($d = d_{eff}$ v mm), α pa je kot med strižno armaturo in ravnino plošče.

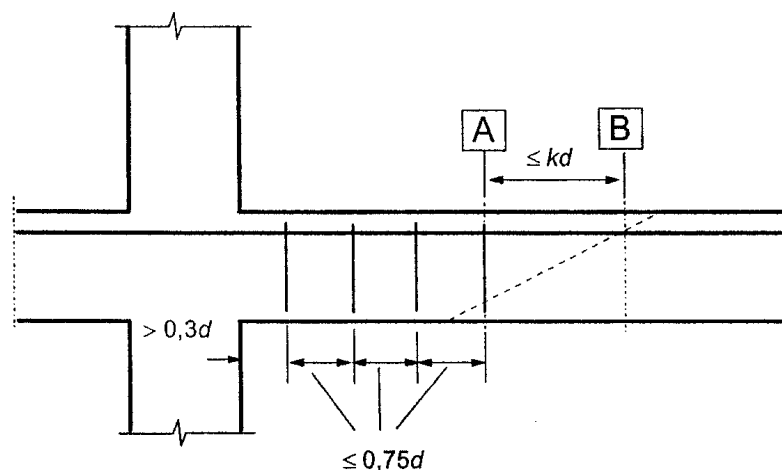
Določimo še dodatni kontrolni obseg u_{out} (ali $u_{out,ef}$), v katerem strižna armatura ni več potrebna. Definiran je kot:

$$u_{out} = \beta * \frac{v_{Ed}}{v_{Rd,c} * d} \quad (21)$$

Pri tem pa strižno armaturo namestimo le do oddaljenosti od roba stebra, ki je za $1,5d$ manjša od obsega u_{out} (ali $u_{out,ef}$). To prikazujemo na sliki 32.



Slika 32: Obseg a) u_{out} ter b) $u_{out,ef}$ (povzeto po EN 1992-1-1:2004, str. 106)



Slika 33: Prikaz razporeditve strižne armature proti preboju (povzeto po EN 1992-1-1:2004, str. 161)

Pri konstruiranju strižne armature proti preboju moramo zagotoviti vsaj minimalno količino strižne armature, ki je določena z izrazom:

$$A_{sw,min} * \frac{(1,5 * \sin\alpha + \cos\alpha)}{s_r * s_t} \geq 0,08 * \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \quad (22)$$

Pri tem je α pa kot med strižno in upogibno armaturo, s_r je razdalja med strižnimi stremeni v radialni smeri, s_t je razdalja med strižnimi stremeni v tangencialni smeri, f_{yk} je karakteristična meja elastičnosti armature (podajamo jo v MPa), f_{ck} pa je karakteristična tlačna trdnost betona (podajamo jo v MPa) (Beg, 2009).

6.3 Kontrola preboja za izbrano ravno ploščo na stebrih

Preverimo varnost plošče nad notranjim stebrom proti preboju. Steber je obremenjen s silo $V_{Ed} = 526,6$ kN. Pri izračunu uporabimo enačbe iz razdelka 6.2.

$$v_{Ed} = \beta * \frac{V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{Rd,max} = 0,5 * v * f_{cd}$$

$u_0 = 4 * a = 4 * 50$ cm = 200 cm. Pri tem je u_0 obseg ob obodu stebra, a je dolžina roba stebra.

$$d = d_{eff} = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{20,5 \text{ cm} + 21,5 \text{ cm}}{2} = 21 \text{ cm}$$

Koeficient $\beta = 1,15$ po standardu SIST EN 1992-1-1 točka 6.4.3 odstavek 6. To vrednost lahko uporabimo, ker je sprememba sosednjih razponov v eni smeri manjša od 25% in so upogibni momenti, ki povzročajo ekscentrično obtežbo na steber, dovolj majhni.

$$v = 0,60 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,60 * \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$v_{Ed} = \beta * \frac{V_{Ed}}{u_0 d} = 1,15 * \frac{526,6 \text{ kN}}{200 \text{ cm} * 21 \text{ cm}} = 0,144 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$v_{Rd,max} = 0,5 * v * f_{cd} = 0,5 * 0,528 * 3,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,792 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$v_{Ed} = 0,144 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq v_{Rd,max} = 0,792 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

V nadaljevanju preverimo, če v osnovnem kontrolnem obsegu potrebujemo strižno armaturo za zagotovitev varnosti proti preboju plošče.

$$v_{Ed} = \beta * \frac{V_{Ed}}{u_1 d} \leq v_{Rd,c}$$

$$u_1 = 4 * a + 2 * \pi * 2 * d = 4 * 50 \text{ cm} + 2 * \pi * 2 * 21 \text{ cm} = 463,9 \text{ cm}$$

$$v_{Ed} = \beta * \frac{V_{Ed}}{u_1 d} = 1,15 * \frac{526,6 \text{ kN}}{463,9 \text{ cm} * 21 \text{ cm}} = 0,062 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp})$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{210}} = 1,976 \leq 2,0$$

$$\rho_{ly} = \frac{a_{sy}}{b_w * d_y} = \frac{8,73 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}}{100 \text{ cm} * 20,5 \text{ cm}} = 0,00426$$

$$\rho_{Iz} = \frac{a_{sz}}{b_w * d_y} = \frac{9,82 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}}{100 \text{ cm} * 21,5 \text{ cm}} = 0,00457$$

$$\rho_I = \sqrt{\rho_{Iy} * \rho_{Iz}} = \sqrt{0,00426 * 0,00457} = 0,004 \leq 0,02$$

$$v_{\min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 1,976^{\frac{3}{2}} * 30^{\frac{1}{2}} \text{ MPa} = 0,532 \text{ MPa} = 0,0532 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \text{ in } k_1 = 0,1$$

$$v_{Rd,c} = 0,12 * 1,976 * (100 * 0,004 * 30 \text{ MPa})^{\frac{1}{3}} = 0,543 \text{ MPa} = 0,0543 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \geq 0,0532 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$v_{Ed} = 0,062 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 0,0543 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Ugotovimo, da pogoj (17) ni izpolnjen, ker je strižna obremenitev večja od strižne odpornosti. Zato moramo v ploščo namestiti zadostno količino strižne armature. Namestimo jo v radialni smeri okrog stebra.

Določimo obseg, kjer strižna armatura ni več potrebna.

$$u_{\text{out}} = \beta * \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} * d} = 1,15 * \frac{526,6 \text{ kN}}{0,0543 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 21 \text{ cm}} = 531,1 \text{ cm}$$

$$\text{Pripadajoči radij je: } r_{\text{out}} = \frac{u_{\text{out}}}{2\pi} = \frac{531,1 \text{ cm}}{2\pi} = 84,5 \text{ cm}$$

Na podlagi priporočil (Hendy in Smith, 2007) moramo v primeru, da je obseg u_{out} oddaljen manj kot $3d$ od roba stebra, strižno armaturo namestiti največ na oddaljenosti $1,5d$ od roba stebra.

$$r_{\text{out}} \leq 3d + \frac{a}{2} = 3 * 21 \text{ cm} + \frac{50 \text{ cm}}{2} = 88 \text{ cm}$$

V obravnavanem primeru je obseg u_{out} oddaljen manj kot $3d$ od roba stebra, zato strižno armaturo namestimo na oddaljenosti največ $1,5d$ od roba stebra.

Določimo radij r_i , na katerem namestimo najbolj zunanjo strižno armaturo.

$$r_i = \frac{a}{2} + 1,5 * d = \frac{50 \text{ cm}}{2} + 1,5 * 21 \text{ cm} = 56,5 \text{ cm}$$

$$u_i = 2\pi r_i = 2\pi * 56,5 \text{ cm} = 355,0 \text{ cm}$$

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 * d = 250 + 0,25 * 210 \text{ mm} = 302,5 \text{ MPa} \leq f_{ywd} = 434,8 \text{ MPa}$$

Potrebno strižno armaturo izračunamo s pomočjo enačbe (20). Uporabimo stremena, ki so pravokotna na ravnino plošče ($\alpha = 90^\circ$).

$$\frac{A_{sw}}{s_r} = \frac{v_{Ed} - 0,75 * v_{Rd,c}}{1,5 * f_{ywd,ef} * \frac{1}{u_i} * \sin \alpha} = \frac{0,062 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} - 0,75 * 0,0543 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,5 * 302,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * \frac{\sin 90^\circ}{355,0 \text{ cm}}} = 0,17 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

Izberemo palice premera $\Phi 8$ ($A_{sw,1} = 0,50 \text{ cm}^2$). Palice razporedimo tako, da je tangencialna razdalja med stremeni manjša od $2d$. Iz tega pogoja določimo število palic po obsegu.

$$n_t > \frac{u_i}{2 * d} = \frac{355,0 \text{ cm}}{2 * 21 \text{ cm}} = 8,5 \text{ . Sledi izbira 9 palic.}$$

Radialna razdalja med stremeni je enaka:

$$\frac{A_{sw}}{s_r} = \frac{n_t * A_{sw,1}}{s_r} \text{ sledi } s_r \leq \frac{n_t * A_{sw,1}}{\frac{A_{sw}}{s_r}} = \frac{9 * 0,50 \text{ cm}^2}{0,17 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}} = 26,5 \text{ cm. Izberemo } s_r = 14,0 \text{ cm.}$$

$$s_r \leq 0,75 * d = 0,75 * 21 = 15,75 \text{ cm.}$$

Določim število palic v radialni smeri: $n_r = 2$

Preverimo še oblikovne omejitve v radialni smeri:

$$r_i - (n_r - 1) * s_r - \frac{a}{2} \leq 1,5d \rightarrow 17,5 \text{ cm} \leq 31,5 \text{ cm}$$

$$0,3d = 6,3 \text{ cm} \leq r_{\text{zunanje armature}} - (n_r - 1) * s_r - \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} = 7,1 \text{ cm}$$

Določim dejansko tangencialno razdaljo med najbolj zunanjimi stremeni:

$$s_t = 2 * r_i * \sin \frac{360^\circ}{2 * n_t} = 2 * 56,5 \text{ cm} * \sin \frac{360^\circ}{2 * 9} = 38,6 \text{ cm} \leq 2d = 2 * 21 \text{ cm} = 42 \text{ cm}$$

Preverimo še pogoj minimalne strižne armature v plošči:

$$A_{\text{sw,min}} * \frac{(1,5 * \sin \alpha + \cos \alpha)}{s_r * s_t} \geq 0,08 * \frac{\sqrt{f_{\text{ck}}}}{f_{\text{yk}}}$$

$$0,50 \text{ cm}^2 * \frac{(1,5 * \sin 90 + \cos 90)}{14 \text{ cm} * 38,6 \text{ cm}} = 0,0014 \geq 0,08 * \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

Ugotovimo, da je zahteva glede minimalne armature izpolnjena.

Odpornost plošče proti preboju preverimo še za robni in vogalni steber. Postopek računa je enak, zato na tem mestu navajamo le končne ugotovitve. Izkaže se, da moramo namestiti strižno armaturo okrog vseh devetih stebrov. Rezultate računa zberemo v preglednici 6.

Preglednica 6: Potrebna količina strižne armature za zagotovitev varnosti plošče proti preboju

	A_{sw}/s_r	$A_{\text{sw,dej}\Phi 8}$	s_{radialna}	$s_{\text{tangencialna}}$	št. palic tangencialno	št. palic radialno	u_i
	[cm ² /cm]	[cm ²]	[cm]	[cm]			
Steber na sredini	0,17	0,5	14,0	38,6	9	2	355,0
Steber na robu	0,21	0,5	15,0	38,9	8	3	301,3
Steber v vogalu	0,10	0,5	15,0	39,1	5	3	175,7

7 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo analizirali in dimenzionirali ravno armiranobetonsko ploščo na stebrih. Za analizo plošče smo uporabili tri različne računske postopke. Najprej smo ploščo analizirali na poenostavljen način z metodo nadomestnih okvirjev, v nadaljevanju pa smo ploščo analizirali in dimenzionirali še s pomočjo računalniškega programa *Safe*. Uporabili smo metodo končnih elementov ter vgrajen modul za analizo plošče z nadomestnimi okvirji. Ugotovili smo, da je najmanjša količina armature potrebna v primeru analize plošče z metodo končnih elementov. Ta metoda je natančnejša od metode nadomestnih okvirjev. Pri metodi nadomestnih okvirjev naredimo določeno napako pri izbiri modela ter pri porazdelitvi upogibnih momentov iz okvirjev na trakove.

Na koncu smo preverili še varnost plošče proti preboju. Ugotovili smo, da moramo za zagotovitev ustrezne varnosti plošče proti preboju nad vsemi stebri namestiti ustrezno količino strižne armature.

Pri izdelavi diplomske naloge sem pridobil veliko novih znanj o obnašanju ravnih plošč na stebrih. Ugotovil sem, da je razporeditev obremenitev in armature pri takšnih ploščah bistveno drugačna kot pri linijsko podprtih ploščah. Ploščo sem analiziral s »pešč« postopkom ter s pomočjo računalniškega programa *Safe* v skladu z veljavnimi standardi. Seznanil sem se z izsledki iz tuje literature in standardov. Osvojil sem osnovna znanja uporabe računalniškega program *Safe*, ki mi bo omogočil boljši vpogled v obnašanje horizontalnih nosilnih konstrukcij.

Velik problem plošč na stebrih je nevarnost preboja. Analiziral sem ga skladno z določili standarda SIST EN 1992-1-1 in pridobil dodatno znanje o reševanju tega problema.

8 SUMMARY

This diploma thesis deals with analysis and design of reinforced concrete flat slabs under gravitational loadings. A regular flat slab is chosen as an example. For that slab we compare the internal moments and the amount of bending reinforcement for two different methods of analysis: the equivalent frame method and the finite element method. We first analyzed the slab on paper by using the equivalent frame method. The finite element analysis was done by using the *Safe* computer code (Computers & Structures, inc., 2012). The *Safe* has an option to analyze a slab also by the (modified) equivalent frame method, which was used as well. Those analyses were followed by design of bending reinforcement according to the standard SIST EN 1992-1-1. The lowest amount of the necessary reinforcement was obtained when the finite element method was used (the finite element method is more accurate for the analysis than the equivalent frame method). In the equivalent frame method some error is made when defining the frames and some error is made when frame moments are distributed to column strip and mid-span strip of the slab. Finally, we checked the punching shear problem for the chosen example slab. We found that the shear reinforcement in slab above all columns is necessary, thus, the design of that reinforcement was performed.

VIRI

Avak, R., Goris, A. 2009. Stahlbetonbau aktuell – Praxishandbuch 2009. Berlin, Bauwerk Verlag: F.19 str.

<http://books.google.si/books?id=tDsBRXKE3qUC&pg=SL6PA20&dq=flachdecke&hl=sl&sa=X&ei=XnW0UbnQOKzG7AaipYCwBg&ved=0CDIQ6AEwAQ> (Pridobljeno 1. 6. 2013.)

Bartol, J. 2007. Problem striga pri ploščah na stebrih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Bartol): 1-2 str.

Beg, D. (ur.), Pogačnik A. (ur.) 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije, poglavje 2: str. 55, 56, 57, 58, 81, 100, 102.

Covan, H. J., Smith, P. R. 2004. Dictionary of architectural and building technology. 4th ed. London, Spon Press: 124 str.

<http://books.google.si/books?id=bbWmt5YEWk0C&pg=PA124&dq=flat+slab&hl=sl&sa=X&ei=4Wa0Ub3yBJTG7Aat8IGwBg&ved=0CGEQ6AEwCDgK#v=onepage&q=flat%20slab&f=false> (Pridobljeno 9. 6. 2013.)

Hendy, C. R., Smith, D. A. 2007. Designers guide to EN 1992-2. Eurocode 2: Design of concrete structures: Part 2: Concrete bridges. London, Thomas Telford Publishing: 183-185 str.

Kalny, O. 2013. Safe: Home. CSI Knowledge base

<https://wiki.csiberkeley.com/display/safe/Home> (Pridobljeno 10. 6. 2013.)

Rösler, M. 2013. Flachdecken. Berlin, University of Applied Sciences, Beuth Hochschule für Technik: 1 str.

<http://public.beuth-hochschule.de/~roeslerm/Skript/Flachdecke.PDF> (Pridobljeno 9. 6. 2013.)

Standardi:

SIST EN 1990:2004: Evrokod: Osnove projektiranja konstrukcij. Ljubljana, Slovenski inštitut za standardizacijo.

SIST EN 1991-1-1:2004: Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. Del: Splošna pravila in pravila za stavbe. Ljubljana, Slovenski inštitut za standardizacijo.

EN 1992-1-1:2004: Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1. Del: Splošna pravila in pravila za stavbe. Brussels, European Committee for Standardisation.

SIST EN 1992-1-1:2005: Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1. Del: Splošna pravila in pravila za stavbe. Ljubljana, Slovenski inštitut za standardizacijo.

Programska oprema:

Computer and Structures, Inc. 2012. Safe: Slab Analysis by the Finite Element Method: Post tensioning version 12.3.2. California, CSI.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: PORAZDELITEV MOMENTOV IZ OKVIRJEV NA TRAKOVE (METODA NADOMESTNIH OKVIRJEV)

PRILOGA B: POTREBNA KOLIČINA UPOGIBNE ARMATURE V PLOŠČI (METODA NADOMESTNIH OKVIRJEV)

PRILOGA C: RAZPOREDITEV MOMENTOV GLEDE NA TRAKOVE (METODA KONČNIH ELEMENTOV)

PRILOGA D: POTREBNA KOLIČINA UPOGIBNE ARMATURE V PLOŠČI (METODA KONČNIH ELEMENTOV)

PRILOGA E: POTREBNA KOLIČINA UPOGIBNE ARMATURE V PLOŠČI (METODA NADOMESTNIH OKVIRJEV S PROGRAMOM SAFE)

PRILOGA F: PRIMERJAVA IZRAČUNANIH MOMENTOV IN ARMATURE

PRILOGA A: PORAZDELITEV MOMENTOV IZ OKVIRJEV NA TRAKOVE (METODA NADOMESTNIH OKVIRJEV)

Preglednica A.1: Porazdelitev momentov iz okvirjev na trakove nad stebri in vmesne trakove

	Moment v nadomestnem okvirju [kNm]	Porazdeljeni moment na traku nad stebri [kNm/m]	Porazdeljeni moment na vmesnem traku [kNm/m]
Okvir A			
Pozitivni momenti			
$M_{Ed,1-2,max}$	63,69	30,57	20,38
$M_{Ed,2-3,max}$	88,89	42,67	28,44
Negativni momenti			
$M_{Ed,1,min}$	-91,98	-51,51	-22,08
$M_{Ed,2,min}$	-164,06	-91,87	-39,37
$M_{Ed,3,min}$	-133,29	-74,64	-31,99
Okvir B			
Pozitivni momenti			
$M_{Ed,1-2,max}$	127,36	27,79	18,53
$M_{Ed,2-3,max}$	177,74	38,78	25,85
Negativni momenti			
$M_{Ed,1,min}$	-183,92	-46,82	-20,06
$M_{Ed,2,min}$	-328,05	-83,50	-35,79
$M_{Ed,3,min}$	-266,53	-67,84	-29,08
Okvir C			
Pozitivni momenti			
$M_{Ed,1-2,max}$	75,27	30,11	20,07
$M_{Ed,2-3,max}$	105,05	42,02	28,01
Negativni momenti			
$M_{Ed,1,min}$	-108,70	-50,73	-21,74
$M_{Ed,2,min}$	-193,88	-90,48	-38,78
$M_{Ed,3,min}$	-157,52	-73,51	-31,50

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice A.1

Okvir 1			
Pozitivni momenti			
$M_{Ed,A-B,max}$	52,73	25,31	12,05
$M_{Ed,B-C,max}$	78,60	31,44	20,96
Negativni momenti			
$M_{Ed,A,min}$	-72,41	-40,55	-12,41
$M_{Ed,B,min}$	-142,24	-66,38	-28,45
$M_{Ed,C,min}$	-113,27	-52,86	-22,65
Okvir 2			
Pozitivni momenti			
$M_{Ed,A-B,max}$	105,45	25,31	10,55
$M_{Ed,B-C,max}$	157,17	31,43	17,96
Negativni momenti			
$M_{Ed,A,min}$	-144,80	-40,54	-10,86
$M_{Ed,B,min}$	-284,44	-66,37	-24,38
$M_{Ed,C,min}$	-226,50	-52,85	-19,41
Okvir 3			
Pozitivni momenti			
$M_{Ed,A-B,max}$	60,85	29,21	10,82
$M_{Ed,B-C,max}$	90,69	36,28	18,14
Negativni momenti			
$M_{Ed,A,min}$	-83,55	-46,79	-11,14
$M_{Ed,B,min}$	-164,12	-76,59	-24,62
$M_{Ed,C,min}$	-130,69	-60,99	-19,60

PRILOGA B: POTREBNA KOLIČINA UPOGIBNE ARMATURE V PLOŠČI (METODA NADOMESTNIH OKVIRJEV)

Preglednica B.1: Potrebna količina upogibne armature v vzdolžni smeri (v smeri osi z)

vzdolžna smer		M_{Eds}	$A_{s,potrebni}$	$A_{s,min}$	$A_{s,dejanski}$	Izbrana armatura
		kNm/m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	mm/cm
trak nad stebri (nad A)	$M_{Ed,1-2,max}$	30,57	3,33	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	42,67	4,95	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,1,min}$	-51,51	5,98	3,24	6,04	Φ10/13
	$M_{Ed,2,min}$	-91,87	10,66	3,24	11,22	Φ10/7
	$M_{Ed,3min}$	-74,64	8,66	3,24	8,73	Φ10/9
vmesni trak (med A in B)	$M_{Ed,1-2,max}$	19,46	2,26	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	27,15	3,15	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,1,min}$	-21,07	2,45	3,24	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,2,min}$	-37,58	4,36	3,24	4,49	Φ10/17,5
	$M_{Ed,3min}$	-30,54	3,54	3,24	3,57	Φ10/22
trak nad stebri (nad B)	$M_{Ed,1-2,max}$	27,79	3,23	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	38,78	4,50	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,1,min}$	-46,82	5,43	3,24	5,61	Φ10/14
	$M_{Ed,2,min}$	-83,50	9,69	3,24	9,82	Φ10/8
	$M_{Ed,3min}$	-67,84	7,87	3,24	8,73	Φ10/9
vmesni trak (med B in C)	$M_{Ed,1-2,max}$	19,30	2,24	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	26,93	3,13	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,1,min}$	-20,90	2,43	3,24	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,2,min}$	-37,29	4,33	3,24	4,49	Φ10/17,5
	$M_{Ed,3min}$	-30,29	3,52	3,24	3,57	Φ10/22
trak nad stebri (nad C)	$M_{Ed,1-2,max}$	30,11	3,49	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	42,02	4,88	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,1,min}$	-50,73	5,89	3,24	6,04	Φ10/13
	$M_{Ed,2,min}$	-90,48	10,50	3,24	11,22	Φ10/7
	$M_{Ed,3min}$	-73,51	8,53	3,24	8,73	Φ10/9

Preglednica B.2: Potrebna količina upogibne armature v prečni smeri (v smeri osi y)

prečna smer		M_{Eds}	$A_{s,potrebni}$	$A_{s,min}$	$A_{s,dejanski}$	Izbrana armatura
		kNm/m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	mm/cm
trak nad stebri (nad 1)	$M_{Ed,A-B,max}$	25,31	3,08	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	31,44	3,83	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,A,min}$	-40,55	4,94	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,B,min}$	-66,38	8,08	3,09	8,73	Φ10/9
	$M_{Ed,C,min}$	-52,86	6,43	3,09	6,54	Φ10/12
vmesni trak (med 1 in 2)	$M_{Ed,A-B,max}$	11,30	1,38	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	19,46	2,37	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,A,min}$	-11,64	1,42	3,09	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,B,min}$	-26,42	3,22	3,09	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,C,min}$	-21,03	2,56	3,09	3,49	Φ10/22,5
trak nad stebri (nad 2)	$M_{Ed,A-B,max}$	25,31	3,08	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	31,43	3,83	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,A,min}$	-40,54	4,93	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,B,min}$	-66,37	8,08	3,09	8,73	Φ10/9
	$M_{Ed,C,min}$	-52,85	6,43	3,09	6,54	Φ10/12
vmesni trak (med 2 in 3)	$M_{Ed,A-B,max}$	10,69	1,30	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	18,05	2,20	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,A,min}$	-11,00	1,34	3,09	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,B,min}$	-24,50	2,98	3,09	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,C,min}$	-19,51	2,37	3,09	3,49	Φ10/22,5
trak nad stebri (nad 3)	$M_{Ed,A-B,max}$	29,21	3,56	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	36,28	4,42	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,A,min}$	-46,79	5,70	3,09	6,04	Φ10/13
	$M_{Ed,B,min}$	-76,59	9,32	3,09	9,82	Φ10/8
	$M_{Ed,C,min}$	-60,99	7,42	3,09	7,85	Φ10/10

PRILOGA C: RAZPOREDITEV MOMENTOV GLEDE NA TRAKOVE (METODA KONČNIH ELEMENTOV)

Preglednica C.1: Prikaz momentov po trakovih dobljenih po analizi z metodo končnih elementov

trak nad A	M [kNm/m]	trak nad 1	M [kNm/m]
$M_{Ed,1-2,max}$	27,13	$M_{Ed,A-B,max}$	20,54
$M_{Ed,2-3,max}$	39,56	$M_{Ed,B-C,max}$	30,44
$M_{Ed,1,min}$	-38,04	$M_{Ed,A,min}$	-28,88
$M_{Ed,2,min}$	-73,58	$M_{Ed,B,min}$	-52,61
$M_{Ed,3,min}$	-57,24	$M_{Ed,C,min}$	-38,65
trak med A in B		trak med 1 in 2	
$M_{Ed,1-2,max}$	21,67	$M_{Ed,A-B,max}$	14,86
$M_{Ed,2-3,max}$	32,11	$M_{Ed,B-C,max}$	23,86
$M_{Ed,1,min}$	-1,48	$M_{Ed,A,min}$	-0,71
$M_{Ed,2,min}$	-25,05	$M_{Ed,B,min}$	-12,73
$M_{Ed,3,min}$	-2,46	$M_{Ed,C,min}$	-0,71
trak nad B		trak nad 2	
$M_{Ed,1-2,max}$	26,37	$M_{Ed,A-B,max}$	19,73
$M_{Ed,2-3,max}$	37,12	$M_{Ed,B-C,max}$	30,42
$M_{Ed,1,min}$	-33,18	$M_{Ed,A,min}$	-29,11
$M_{Ed,2,min}$	-72,26	$M_{Ed,B,min}$	-60,13
$M_{Ed,3,min}$	-49,15	$M_{Ed,C,min}$	-38,71
trak med B in C		trak med 2 in 3	
$M_{Ed,1-2,max}$	22,01	$M_{Ed,A-B,max}$	15,93
$M_{Ed,2-3,max}$	32,54	$M_{Ed,B-C,max}$	25,06
$M_{Ed,1,min}$	-0,72	$M_{Ed,A,min}$	-0,74
$M_{Ed,2,min}$	-19,00	$M_{Ed,B,min}$	-10,36
$M_{Ed,3,min}$	-1,32	$M_{Ed,C,min}$	-0,50
trak nad C		trak nad 3	
$M_{Ed,1-2,max}$	28,71	$M_{Ed,A-B,max}$	22,38
$M_{Ed,2-3,max}$	41,19	$M_{Ed,B-C,max}$	33,19
$M_{Ed,1,min}$	-37,67	$M_{Ed,A,min}$	-34,21
$M_{Ed,2,min}$	-75,17	$M_{Ed,B,min}$	-60,13
$M_{Ed,3,min}$	-56,75	$M_{Ed,C,min}$	-44,90

PRILOGA D: POTREBNA KOLIČINA UPOGIBNE ARMATURE V PLOŠČI (METODA KONČNIH ELEMENTOV)

Preglednica D.1: Potrebna količina upogibne armature v vzdolžni smeri (v smeri osi z)

vzdolžna smer		$A_{s,potrebni}$	$A_{s,min}$	$A_{s,dejanski}$	Izbrana armatura
		cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	mm/cm
trak nad stebri (nad A)	$M_{Ed,1-2,max}$	2,45	3,24	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	3,67	3,24	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,1,min}$	3,98	3,24	4,13	Φ10/19
	$M_{Ed,2,min}$	7,50	3,24	7,85	Φ10/10
	$M_{Ed,3min}$	6,25	3,24	6,28	Φ10/12,5
vmesni trak (med A in B)	$M_{Ed,1-2,max}$	2,30	3,24	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	3,50	3,24	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,1,min}$	0,26	3,24	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,2,min}$	2,83	3,24	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,3min}$	0,60	3,24	3,49	Φ10/22,5
trak nad stebri (nad B)	$M_{Ed,1-2,max}$	2,83	3,24	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	4,06	3,24	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,1,min}$	4,03	3,24	4,13	Φ10/19
	$M_{Ed,2,min}$	9,00	3,24	9,82	Φ10/8
	$M_{Ed,3min}$	6,16	3,24	6,28	Φ10/12,5
vmesni trak (med B in C)	$M_{Ed,1-2,max}$	2,29	3,24	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	3,53	3,24	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,1,min}$	0,16	3,24	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,2,min}$	2,12	3,24	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,3min}$	0,23	3,24	3,49	Φ10/22,5
trak nad stebri (nad C)	$M_{Ed,1-2,max}$	2,75	3,24	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	3,93	3,24	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,1,min}$	4,09	3,24	4,13	Φ10/19
	$M_{Ed,2,min}$	7,91	3,24	8,73	Φ10/9
	$M_{Ed,3min}$	6,32	3,24	6,54	Φ10/12

Preglednica D.2: Potrebna količina upogibne armature v prečni smeri (v smeri osi y)

prečna smer		$A_{s,potrebni}$	$A_{s,min}$	$A_{s,dejanski}$	Izbrana armatura
		cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	mm/cm
trak nad stebri (nad 1)	$M_{Ed,A-B,max}$	2,06	3,09	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	3,09	3,09	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,A,min}$	3,06	3,09	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,B,min}$	4,70	3,09	4,91	Φ10/16
	$M_{Ed,C,min}$	4,37	3,09	4,62	Φ10/17
vmesni trak (med 1 in 2)	$M_{Ed,A-B,max}$	1,62	3,09	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	2,72	3,09	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,A,min}$	0,25	3,09	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,B,min}$	1,65	3,09	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,C,min}$	0,24	3,09	3,49	Φ10/22,5
trak nad stebri (nad 2)	$M_{Ed,A-B,max}$	2,15	3,09	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	3,50	3,09	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,A,min}$	3,61	3,09	3,93	Φ10/20
	$M_{Ed,B,min}$	7,35	3,09	7,85	Φ10/15
	$M_{Ed,C,min}$	5,00	3,09	5,24	Φ10/15
vmesni trak (med 2 in 3)	$M_{Ed,A-B,max}$	1,76	3,09	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	2,84	3,09	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,A,min}$	0,31	3,09	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,B,min}$	1,35	3,09	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,C,min}$	0,25	3,09	3,49	Φ10/22,5
trak nad stebri (nad 3)	$M_{Ed,A-B,max}$	2,36	3,09	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	3,44	3,09	4,24	Φ9/15
	$M_{Ed,A,min}$	3,70	3,09	3,93	Φ10/20
	$M_{Ed,B,min}$	5,61	3,09	5,61	Φ10/14
	$M_{Ed,C,min}$	5,12	3,09	5,24	Φ10/15

PRILOGA E: POTREBNA KOLIČINA UPOGIBNE ARMATURE V PLOŠČI (METODA NADOMESTNIH OKVIRJEV S PROGRAMOM SAFE)

Preglednica E.1: Potrebna količina upogibne armature v vzdolžni smeri (v smeri osi z)

vzdolžna smer		M_{Eds}	$A_{s,potrebni}$	$A_{s,min}$	$A_{s,dejanski}$	Izbrana armatura
		kNm/m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	mm/cm
trak nad stebri (nad A)	$M_{Ed,1-2,max}$	28,06	3,26	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	40,23	4,67	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,1,min}$	-44,21	5,13	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,2,min}$	-101,45	11,77	3,24	12,08	Φ10/6,5
	$M_{Ed,3min}$	-64,52	7,49	3,24	7,85	Φ10/10
vmesni trak (med A in B)	$M_{Ed,1-2,max}$	19,72	2,29	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	28,77	3,34	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,1,min}$	-14,03	1,63	3,24	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,2,min}$	-43,51	5,05	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,3min}$	-21,02	2,44	3,24	3,49	Φ10/22,5
trak nad stebri (nad B)	$M_{Ed,1-2,max}$	31,10	3,61	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	46,07	5,35	3,24	7,85	Φ10/10
	$M_{Ed,1,min}$	-21,27	2,47	3,24	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,2,min}$	-101,58	11,79	3,24	12,08	Φ10/6,5
	$M_{Ed,3min}$	-33,57	3,90	3,24	3,93	Φ10/20
vmesni trak (med B in C)	$M_{Ed,1-2,max}$	20,01	2,32	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	29,28	3,40	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,1,min}$	-12,89	1,50	3,24	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,2,min}$	-43,67	5,07	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,3min}$	-19,55	2,27	3,24	3,49	Φ10/22,5
trak nad stebri (nad C)	$M_{Ed,1-2,max}$	28,92	3,36	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,2-3,max}$	41,77	4,85	3,24	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,1,min}$	-38,88	4,51	3,24	4,91	Φ10/16
	$M_{Ed,2,min}$	-102,24	11,87	3,24	12,08	Φ10/6,5
	$M_{Ed,3min}$	-57,68	6,69	3,24	7,14	Φ10/11

Preglednica E.2: Potrebna količina upogibne armature v prečni smeri (v smeri osi y)

prečna smer		M_{Eds}	$A_{s,potrebni}$	$A_{s,min}$	$A_{s,dejanski}$	Izbrana armatura
		kNm/m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	mm/cm
trak nad stebri (nad 1)	$M_{Ed,A-B,max}$	23,91	2,91	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	31,26	3,81	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,A,min}$	-29,84	3,63	3,09	3,93	Φ10/20
	$M_{Ed,B,min}$	-76,41	9,30	3,09	9,82	Φ10/8
	$M_{Ed,C,min}$	-40,25	4,90	3,09	4,91	Φ10/16
vmesni trak (med 1 in 2)	$M_{Ed,A-B,max}$	11,73	1,43	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	21,67	2,64	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,A,min}$	-6,36	0,77	3,09	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,B,min}$	-31,61	3,85	3,09	3,93	Φ10/20
	$M_{Ed,C,min}$	-12,30	1,50	3,09	3,49	Φ10/22,5
trak nad stebri (nad 2)	$M_{Ed,A-B,max}$	28,96	3,53	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	39,38	4,79	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,A,min}$	-13,40	1,63	3,09	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,B,min}$	-82,95	10,10	3,09	10,47	Φ10/7,5
	$M_{Ed,C,min}$	-20,02	2,44	3,09	3,49	Φ10/22,5
vmesni trak (med 2 in 3)	$M_{Ed,A-B,max}$	11,39	1,39	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	20,74	2,52	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,A,min}$	-5,39	0,66	3,09	3,49	Φ10/22,5
	$M_{Ed,B,min}$	-29,68	3,61	3,09	3,93	Φ10/20
	$M_{Ed,C,min}$	-10,36	1,26	3,09	3,49	Φ10/22,5
trak nad stebri (nad 3)	$M_{Ed,A-B,max}$	28,90	3,52	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,B-C,max}$	37,96	4,62	3,09	5,24	Φ10/15
	$M_{Ed,A,min}$	-30,21	3,68	3,09	3,93	Φ10/20
	$M_{Ed,B,min}$	-89,89	10,94	3,09	11,22	Φ10/7
	$M_{Ed,C,min}$	-41,59	5,06	3,09	5,24	Φ10/15

PRILOGA F: PRIMERJAVA IZRAČUNANE ARMATURE IN MOMENTOV

Preglednica F.1: Primerjava dobljenih momentov

		metoda nadomestnih okvirjev	metoda nadomestnih okvirjev s programom <i>Safe</i>	metoda končnih elementov s programom <i>Safe</i>
		M [kNm/m]	M [kNm/m]	M [kNm/m]
trak nad stebri (nad A)	$M_{Ed,1-2,max}$	30,6	28,1	27,1
	$M_{Ed,2-3,max}$	42,7	40,2	39,6
	$M_{Ed,1,min}$	-51,5	-44,2	-38,0
	$M_{Ed,2,min}$	-91,9	-101,4	-73,6
	$M_{Ed,3min}$	-74,6	-64,5	-57,2
vmesni trak (med A in B)	$M_{Ed,1-2,max}$	19,5	19,7	21,7
	$M_{Ed,2-3,max}$	27,2	28,8	32,1
	$M_{Ed,1,min}$	-21,1	-14,0	-1,5
	$M_{Ed,2,min}$	-37,6	-43,5	-25,1
	$M_{Ed,3min}$	-30,5	-21,0	-2,5
trak nad stebri (nad B)	$M_{Ed,1-2,max}$	27,8	31,1	26,4
	$M_{Ed,2-3,max}$	38,8	46,1	37,1
	$M_{Ed,1,min}$	-46,8	-21,3	-33,2
	$M_{Ed,2,min}$	-83,5	-101,6	-72,3
	$M_{Ed,3min}$	-67,8	-33,6	-49,1
vmesni trak (med B in C)	$M_{Ed,1-2,max}$	19,3	20,0	22,0
	$M_{Ed,2-3,max}$	26,9	29,3	32,5
	$M_{Ed,1,min}$	-20,9	-12,9	-0,7
	$M_{Ed,2,min}$	-37,3	-43,7	-19,0
	$M_{Ed,3min}$	-30,3	-19,6	-1,3
trak nad stebri (nad C)	$M_{Ed,1-2,max}$	30,1	28,9	28,7
	$M_{Ed,2-3,max}$	42,0	41,8	41,2
	$M_{Ed,1,min}$	-50,7	-38,9	-37,7
	$M_{Ed,2,min}$	-90,5	-102,2	-75,2
	$M_{Ed,3min}$	-73,5	-57,7	-56,8

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice F.1

trak nad stebri (nad 1)	$M_{Ed,A-B,max}$	25,3	23,9	20,5
	$M_{Ed,B-C,max}$	31,4	31,3	30,4
	$M_{Ed,A,min}$	-40,6	-29,8	-28,9
	$M_{Ed,B,min}$	-66,4	-76,4	-52,6
	$M_{Ed,C,min}$	-52,9	-40,3	-38,6
vmesni trak (med 1 in 2)	$M_{Ed,A-B,max}$	11,3	11,7	14,9
	$M_{Ed,B-C,max}$	19,5	21,7	23,9
	$M_{Ed,A,min}$	-11,6	-6,4	-0,7
	$M_{Ed,B,min}$	-26,4	-31,6	-12,7
	$M_{Ed,C,min}$	-21,0	-12,3	-0,7
trak nad stebri (nad 2)	$M_{Ed,A-B,max}$	25,3	29,0	19,7
	$M_{Ed,B-C,max}$	31,4	39,4	30,4
	$M_{Ed,A,min}$	-40,5	-13,4	-29,1
	$M_{Ed,B,min}$	-66,4	-82,9	-60,1
	$M_{Ed,C,min}$	-52,9	-20,0	-38,7
vmesni trak (med 2 in 3)	$M_{Ed,A-B,max}$	10,7	11,4	15,9
	$M_{Ed,B-C,max}$	18,1	20,7	25,1
	$M_{Ed,A,min}$	-11,0	-5,4	-0,7
	$M_{Ed,B,min}$	-24,5	-29,7	-10,4
	$M_{Ed,C,min}$	-19,5	-10,4	-0,5
trak nad stebri (nad 3)	$M_{Ed,A-B,max}$	29,2	28,9	22,4
	$M_{Ed,B-C,max}$	36,3	38,0	33,2
	$M_{Ed,A,min}$	-46,8	-30,2	-34,2
	$M_{Ed,B,min}$	-76,6	-89,9	-60,1
	$M_{Ed,C,min}$	-61,0	-41,6	-44,9

Preglednica F.2: Primerjava potrebne količine armature

		metoda	metoda	metoda končnih	
		nadomestnih okvirjev	nadomestnih okvirjev s programom <i>Safe</i>	elementov s programom <i>Safe</i>	
		$A_{s,potrebni}$ cm ² /m	$A_{s,potrebni}$ cm ² /m	$A_{s,potrebni}$ cm ² /m	$A_{s,min}$ cm ² /m
trak nad stebri (nad A)	$A_{s,1-2,spodaj}$	3,55	3,26	2,45	3,24
	$A_{s,2-3,spodaj}$	4,95	4,67	3,67	3,24
	$A_{s,1,zgoraj}$	5,98	5,13	3,98	3,24
	$A_{s,2,zgoraj}$	10,66	11,77	7,50	3,24
	$A_{s,3,zgoraj}$	8,66	7,49	6,25	3,24
vmesni trak (med A in B)	$A_{s,1-2,spodaj}$	2,26	2,29	2,30	3,24
	$A_{s,2-3,spodaj}$	3,15	3,34	3,50	3,24
	$A_{s,1,zgoraj}$	2,45	1,63	0,26	3,24
	$A_{s,2,zgoraj}$	4,36	5,05	2,83	3,24
	$A_{s,3,zgoraj}$	3,54	2,44	0,60	3,24
trak nad stebri (nad B)	$A_{s,1-2,spodaj}$	3,23	3,61	2,83	3,24
	$A_{s,2-3,spodaj}$	4,50	5,35	4,06	3,24
	$A_{s,1,zgoraj}$	5,43	2,47	4,03	3,24
	$A_{s,2,zgoraj}$	9,69	11,79	9,00	3,24
	$A_{s,3,zgoraj}$	7,87	3,90	6,16	3,24
vmesni trak (med B in C)	$A_{s,1-2,spodaj}$	2,24	2,32	2,29	3,24
	$A_{s,2-3,spodaj}$	3,13	3,40	3,53	3,24
	$A_{s,1,zgoraj}$	2,43	1,50	0,16	3,24
	$A_{s,2,zgoraj}$	4,33	5,07	2,12	3,24
	$A_{s,3,zgoraj}$	3,52	2,27	0,23	3,24

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice F.2

trak nad stebri (nad C)	$A_{s,1-2,spodaj}$	3,49	3,36	2,75	3,24
	$A_{s,2-3,spodaj}$	4,88	4,85	3,93	3,24
	$A_{s,1,zgoraj}$	5,89	4,51	4,09	3,24
	$A_{s,2,zgoraj}$	10,50	11,87	7,91	3,24
	$A_{s,3,zgoraj}$	8,53	6,69	6,32	3,24
trak nad stebri (nad 1)	$A_{s,A-B,spodaj}$	3,08	2,91	2,06	3,09
	$A_{s,B-C,spodaj}$	3,83	3,81	3,09	3,09
	$A_{s,A,zgoraj}$	4,94	3,63	3,06	3,09
	$A_{s,B,zgoraj}$	8,08	9,30	4,70	3,09
	$A_{s,C,zgoraj}$	6,43	4,90	4,37	3,09
vmesni trak (med 1 in 2)	$A_{s,A-B,spodaj}$	1,38	1,43	1,62	3,09
	$A_{s,B-C,spodaj}$	2,37	2,64	2,72	3,09
	$A_{s,A,zgoraj}$	1,42	0,77	0,25	3,09
	$A_{s,B,zgoraj}$	3,22	3,85	1,65	3,09
	$A_{s,C,zgoraj}$	2,56	1,50	0,24	3,09
trak nad stebri (nad 2)	$A_{s,A-B,spodaj}$	3,08	3,53	2,15	3,09
	$A_{s,B-C,spodaj}$	3,83	4,79	3,50	3,09
	$A_{s,A,zgoraj}$	4,93	1,63	3,61	3,09
	$A_{s,B,zgoraj}$	8,08	10,10	7,35	3,09
	$A_{s,C,zgoraj}$	6,43	2,44	5,00	3,09
vmesni trak (med 2 in 3)	$A_{s,A-B,spodaj}$	1,30	1,39	1,76	3,09
	$A_{s,B-C,spodaj}$	2,20	2,52	2,84	3,09
	$A_{s,A,zgoraj}$	1,34	0,66	0,31	3,09
	$A_{s,B,zgoraj}$	2,98	3,61	1,35	3,09
	$A_{s,C,zgoraj}$	2,37	1,26	0,25	3,09
trak nad stebri (nad 3)	$A_{s,A-B,spodaj}$	3,56	3,52	2,36	3,09
	$A_{s,B-C,spodaj}$	4,42	4,62	3,44	3,09
	$A_{s,A,zgoraj}$	5,70	3,68	3,70	3,09
	$A_{s,B,zgoraj}$	9,32	10,94	5,61	3,09
	$A_{s,C,zgoraj}$	7,42	5,06	5,12	3,09